

TIELAITOS  
TURUN TIEPIIRI

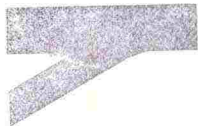
MAABETONI KANTAVASSA KERROKSESSA;  
KÄYTTÖKOKEMUKSIA TURUN TIEPIIRISSÄ

INSINÖÖRITYÖ

Kari-Pekka Kyrölä

TURKU 1992

08 TIE/TUR



**Tielaitos**  
Tiehallituksen kirjasto

Doknro: 930475  
P - nro: 930628

## TIIVISTELMÄ

Insinööritöiden tavoitteena oli kuvata maabetonin käyttöä kantavan kerroksen lujittamiseen Kt 40:n yhdessä työkohteessa sekä arvioida saatujen kokemusten pohjalta maabetonin soveltuvuutta kantavan kerroksen lujittamiseen. Työssä esitetään lisäksi taulukkona eräitä aikaisempia Turun tiepiirin eteläosassa tehtyjä maabetoni- ja stabilointikohteita.

Esimerkkitapauksena kuvataan Kt 40:n perusparannustyön yhteydessä toteutettu Nesteentien maabetonikohde, joka jakaantui koeosuuteen ja perinteisesti toteutettuun maabetoniosuuteen. Tutkimuksessa verrataan kahta eri toteuttamisvaihtoehtoa, paksulla päällysteellä suojattu maabetoni ja ohuella päällystekerroksella suojattu maabetoni. Vaihtoehtoista toteutettiin koeosuudella jälkimmäinen ja muilla osuuksilla ensimmäinen vaihtoehto.

Kohteesta saatujen kokemusten perusteella on osoitettu, että maabetoni soveltuu kantavan kerroksen lujittamiseen erinomaisesti ja vaihtoehtoista molemmat ovat yhtä toteuttamiskelpoisia. Valinta vaihtoehtojen välillä tulee suorittaa tapauskohtaisesti kustannusvertailujen jälkeen.

## ABSTRACT

The purpose of this study was to describe the use and evaluate the suitability of cement - treated materials in the base course of an asphalt paved road on one of the work - places on the road number 40. Some earlier experiences about cement - treated pavements and stabilizations in Turku area are also presented in this study.

The construction of cement - treated pavement on one of the work - places on the road number 40 is described as an example. In this study the carrying out of two alternative plans is compared, the use of thick asphalt layers and the use of thin asphalt layers over the cement - treated base course.

On the basis of this study cement - treated pavements can be considered to suit well to strengthen the base course of a road. Both alternatives are possible to be carried out. The choose between the alternatives should be made in each case on the basis of the cost estimate.



## ALKUSANAT

Tämä insinöörityö on tehty Turun tiepiirille sekä Turun teknillisen oppilaitoksen rakennusosastolle. Työ on tehty Turun tiepiirissä vuoden 1992 touko- ja marraskuun välisenä aikana.

Oppilaitoksen puolelta työn valvojana toimi osastonjohtaja tekn.lis. Erkki Syvälahti ja Turun tiepiirin puolelta yhdyshenkilönä sekä työn valvojana toimi laadunohjausyksikön päällikkö DI Jussi Rahiala.

Työssäni minua on auttanut Turun tiepiirin laadunohjausyksikön henkilökunta ja projekti kantatie 40:n henkilökunta.



Kari-Pekka Kyrölä

**MAABETONI KANTAVASSA KERROKSESSA;  
KÄYTTÖKOKEMUKSIA TURUN TIEPIIRISSÄ**

**Sisällysluettelo**

**TIIVISTELMÄ**

**ABSTRACT**

**ALKUSANAT**

<b>1 JOHDANTO . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1 YLEISTÄ . . . . .	1
1.2 MIKSI MAABETONIA KÄYTETÄÄN . . . . .	1
<b>2 MAABETONI . . . . .</b>	<b>2</b>
2.1 MITÄ MAABETONI ON . . . . .	2
2.2 MAABETONIN OMINAISUUDET . . . . .	3
2.2.1 Lujuus . . . . .	3
2.2.2 Halkeilutaipumus . . . . .	4
2.2.3 Jäykkyys . . . . .	5
2.3 MAABETONIN KÄYTTÖTAVAT JA VALMISTUS . . . . .	6
2.3.1 Maabetonin eri käyttövaihtoehdot . . .	6
2.3.2 Maabetonin valmistusmenetelmät . . .	7
2.4 MAABETONIN TARJOAMAT EDUT TIENRAKENTAMISESSA . .	9
2.4.1 Materiaalien säästäminen . . . . .	9
2.4.2 Kuljetuskustannusten pieneneminen . .	10
2.4.3 Hyvä kuormankantokyky . . . . .	10
2.4.4 Ympäristönsuojelu . . . . .	10

3	MAABETONI JA STABILOINTITÖITÄ TURUN TIEPIIRIN ETELÄOSASSA . . . . .	11
4	ESIMERKKIKOHDE . . . . .	13
4.1	VAIHTOEHTOJEN VERTAILU JA MITOITUS . . . . .	13
4.1.1	Toteuttamisvaihtoehdot . . . . .	13
4.1.2	Vertailun tulokset . . . . .	15
4.1.3	Mitoitus . . . . .	17
4.2	ENNAKKOKOKEET . . . . .	17
4.2.1	Eri kokeet ja niiden suoritus . . . . .	17
4.2.1.1	Rakeisuus . . . . .	18
4.2.1.2	Humus . . . . .	18
4.2.1.3	ICT-laitteella suori- tetut kokeet . . . . .	19
4.2.1.4	Puristus . . . . .	22
4.2.2	Ennakkokokeiden tulokset . . . . .	22
4.2.3	Päätelmät . . . . .	24
4.3	MAABETONIN VALMISTUS . . . . .	25
4.3.1	Käytetty kalusto . . . . .	25
4.3.2	Työn suoritus . . . . .	30
4.3.2.1	Käytetyt materiaalit . . . . .	30
4.3.2.2	Työn kulku . . . . .	30
4.3.3	Työsaumat . . . . .	32
4.3.4	Kapasiteetit . . . . .	33
4.3.5	Jälkihoito . . . . .	33
4.3.6	Päällystys . . . . .	34
4.3.7	Liikenteelle otto . . . . .	35
4.4	LAADUNVARMISTUS JA TULOKSET . . . . .	36
4.4.1	Vesipitoisuus . . . . .	36
4.4.2	Tiiviys . . . . .	37
4.4.3	Sementtimäärä . . . . .	38
4.4.4	Kerrospaksuudet . . . . .	39
4.4.5	Tasaisuus . . . . .	41
4.4.6	Massan laatu . . . . .	41

4.4.7 Puristuslujuus . . . . .	42
4.4.8 Kantavuudet . . . . .	46
4.5 EHDOTUS JATKOTOIMENPITEIKSI . . . . .	48
4.5.1 Tieosan seuranta . . . . .	48
4.5.2 Mahdolliset vauriot . . . . .	49
4.5.3 Korjausehdotus . . . . .	50
5 YHTEENVETO . . . . .	50
5.1 MAABETONIN SOPIVUUS KANTAVAAAN KERROKSEEN . . . . .	50
5.2 KEHITYSNÄKYMÄT . . . . .	51
5.3 LAADUNVARMISTUKSEN KEHITYS . . . . .	51
6 LÄHDELUETTELO . . . . .	52
7 LIITTEET . . . . .	54

## 1 JOHDANTO

### 1.1 YLEISTÄ

Laatu on nykypäivänä avainsana monessa asiassa, myös tienrakentamisessa. Korkeasta laadusta on tullut tärkeä ominaisuus liikennemäärien ja erikoisesti raskaiden kuljetusten jatkuvasti lisääntyessä. Rakenteilta vaaditaan suurempia kantavuuksia ja pidempää kestoikää, kuitenkin kustannusten edellytetään pysyvän kohtuullisina sekä rakentamis- että kunnossapitoaikana.

Nämä vaatimukset heijastuvat tasausviivasta alaspäin vaadittaessa myöskin rakenteeseen käytetyiltä materiaaleilta enemmän. Kiviainekset pystytään nykyään luokittelemaan hyvin tarkasti paremmuusjärjestykseen kehittyneiden tutkimusmenetelmien ansiosta. Pystytään jo etukäteen ennustamaan käytettyjen kiviainesten mahdollinen myöhempi käyttäytyminen rakenteessa. Tärkeää ei ole ainoastaan se, että tie saadaan halvalla tehtyä, vaan sen on oltava myös kestävä ja edullinen kymmeniä vuosia kestävä kunnossapitajakson aikana.

Maabetoni rakenneosana on eräs vaihtoehto tierakenteen eliniän pidentämiseksi, sillä sementillä sidotut rakenteet kestävät liikenteen hienontavaa vaikutusta paremmin kuin perinteiset murskatut materiaalit. Sementin avulla aiemmin sitomaton, ulkoisille tekijöille, vettymiselle ja mekaaniselle kulutukselle altis rakenne saadaan tilavuudeltaan lähes muuttumattomaksi ja kestävyydeltään pitkäikäiseksi./1./

### 1.2 MIKSI MAABETONIA KÄYTETÄÄN

Tiestömme kuormituksen lisääntyessä on todettu perinteisen hyvistä kiviaineksista sitomattomana tehdyn rakenteen



kantavuuden riittämättömyys ohuiden päällysteiden yhteydessä. Päällysteen alapintaan muodostuu suuria vetojännityksiä kantavan kerroksen joustaessa liikaa. Sitomattomassa rakenteessa jännitykset kohdistuvat liian suurina alusrakenteeseen ja perusmaahan, joiden sallitut jännitykset ylitetään rakenteen keväällä roudan sulamisen aikoihin vettyessä. Kantavuudeltaan tai routamitoitukseltaan alimitoitettu rakenne väsyä ja deformatuu odotettua nopeammin.

Tavanomaisen rakenteen ennen aikaista vaurioitumista on todettu usein etenkin kalliomurskeiden käytön yhteydessä. Kalliomurskeen epäjatkovasta raekoostumuksesta johtuva lajittumistaipumus ja hienonemisherkkyys on usein todettu rakenteen jälkitiivistymisen ja päällysteen vaurioitumisen syyksi.

Laattavaikutteinen, riittävän paksu maabetonirakenne kantaa hyvin liikennekuormat myös roudan sulamisen aikoihin sekä tasoittaa muutenkin alusrakenteen kantavuus- ja routivuuseroja. Maabetoni sietää hyvin korkeita lämpötiloja, mutta on arka suurille vetojännityksille.

Sementillä lujitettuna voidaan rakenteissa käyttää myös sellaisia rakeisuudeltaan tai muulta laadultaan heikompia kiviaineita, jotka eivät aivan täytä sitomattomien kerrosten materiaalien laatuvaatimuksia./1,2./

## 2 MAABETONI

### 2.1 MITÄ MAABETONI ON

Maa-ainesten sitomisesta sementillä käytetään yleisnimitystä sementtistabilointi. Maabetonilla ymmärretään kantavan tai jakavan kerroksen sitomista sementillä siten, että lisätyllä sideaineella on selvä vaikutus rakenteen lujuu-

teen. Kerros voi olla joko osittaan tai kokonaan sidottu. Kiviaineksen tulee olla homogeenista ja humuksetonta. Maabetonirakenteen luonteeseen kuuluu vapaa halkeilu./1./

## 2.2 MAABETONIN OMINAISUUDET

### 2.2.1 Lujuus

Maabetonin lujuus ilmoitetaan yleensä puristuslujuutena 7 vrk:n iässä. Tavoitelujuudet vaihtelevat välillä 3 - 10 MN/m<sup>2</sup> kerrospaksuuden, kerrosten aseman ja päälle tulevan liikenteen mukaan (esim. raskas liikenne). Käytännössä tavoitelujuudet ovat 5 - 8 MN/m<sup>2</sup>.

Puristuslujuus on verrannollinen sementtimäärään, mutta tietyllä sementtipitoisuudella puristuslujuus voi vaihdella suuresti riippuen kiviaineksen rakeisuudesta, massan kuivatilavuuspainosta, vesipitoisuudesta, tiivistystyön tehokkuudesta ja jälkihoidon suorituksesta. Näin ollen tavoitelujuuteen tarvittava sementtimäärä voidaan selvittää luotettavasti vain lopullisilla materiaaleilla tehtävin ennakkokokein.

Sementtimäärät vaihtelevat käytännössä 3,5 - 8 %:iin kiviaineksen kuivapainosta. Sementtimäärään vaikuttaa eniten runkokiviaineksen laatu. Kiviaines, jonka rakeisuuskäyrä on lähellä ohjekäyrää, on luonnollisesti edullisin sementin kulutusta ajatellen. Korkeat sementtimäärät nostavat kustannuksia, joten yleensä on edullisempaa parantaa kiviaineksen rakeisuutta.

Maabetonia tehtäessä lähelle tien pintaa on kiinnitettävä huomiota maabetonin taivutusvetolujuuteen. Taivutusvetolujuus on yleensä 1/5 - 1/8 puristuslujuudesta. Taivutusvetolujuuden arvoa voidaan nostaa lisäämällä puristuslujuutta tai käyttämällä karkeaa, suhteistunutta runkoainesta ja huolehtimalla tehokkaasta tiivistämisestä ja jälkihoidos-

ta./1./

### 2.2.2 Halkeilutaipumus

Maabetoni on vapaasti halkeileva materiaali. Halkeilu kuluu maabetonin luonteeseen eikä sitä ole syytä eikä voida estää. Odottamattomasti halkeileva maabetoni saattaa aiheuttaa vaurioita muuhun rakenteeseen ja alentaa tien kantavuutta tai rakenteen kestävyyttä.

Maabetoni halkeilee kolmesta syystä:

- 1 kutistumishalkeiluna yleensä heti kovettumisen yhteydessä
- 2 lämpötilaerojen aiheuttamien jännitysten vuoksi
- 3 dynaamisen liikennekuorman aiheuttamien taivutusvetojännitysten takia.

Lämpötilaerojen ja liikennekuormien aiheuttamat jännitykset pienenevät nopeasti maabetonin etäisyyden tienpinnasta kasvaessa. Kantavan kerroksen maabetonissa nämä jännitykset ovat merkittäviä.

Kutistumishalkeilua voidaan ohjata esim. seuraavilla toimenpiteillä:

- ei sementin yliannostusta
- pitkä sitoutumisaika (kuonan lisääminen)
- massan vesipitoisuus alle optimikosteuden
- karkeahko kostutettu alusta
- bitumikalvo heti jyräyksen jälkeen.

Edullisin halkeilutapa on tiheä halkeamaverkko, jolloin halkeamat jäävät mikrohalkeamiksi heikentämättä kuorman-siirtokykyä tai rakenteen kestävyyttä.



Maabetonin halkeiluun suhtautuminen näyttää määräävän maabetonin käyttömuodon eri maissa. Asfaltin läpi heijastuvia halkeamia pidetään toisaalla merkityksettöminä, kun taas toisaalla vaaditaan maabetonin päälle paksu, 10 - 20 cm:n asfalttikerros. Nykyään ehdotetaan usein maabetonin päälle kantavassa kerroksessa joustavaa päällystettä, esimerkiksi kumibitumiasfalttia (KBAB), joka deformaatiokyvyllään estää halkeamien heijastumisen päällysteen läpi ja ajaa näin saman asian kuin paksut päällystekerrokset.

Ohuiden päällysteiden käyttö asettaa paksuja päällysteitä suuremmat vaatimukset maabetonirakenteen tasaisuudelle, koska epätasaisuudet heijastuvat ohuen päällysteen läpi pintaan helpommin kuin paksun. Paksuja päällystekerroksia tehtäessä voidaan pieniä epätasaisuuksia korjata ja oikaista päällystyksen aikana./1./

### 2.2.3 Jäykkyys

Maabetonin luonteenomaisin piirre on suhteellisen suuri jäykkyys muihin kantavan kerroksen materiaaleihin verrattuna. Maabetoni riittävän paksuna kantavana kerroksena vähentää merkittävästi jännityksiä ja muodonmuutoksia sekä yläpuolella olevassa kulutuskerroksessa että alapuolella olevissa rakenteen muissa osissa. Tavanomaisen tierakenteen määräävinä jännityksinä ovat yleensä sidottujen kerrosten alareunaan syntyvä vetojännitys ja pohjamaalle tuleva pystysuora puristusjännitys. Maabetonin laattavaikeus vähentää rakenteen maksimitaipumaa, alustaan kohdistuvia jännityksiä sekä kulutuskerroksen alareunan muodonmuutoksia, joten jäykähkö kantava kerros lisää rakenteen kestoikää merkittävästi.

Maabetonilla aikaansaatava jäykkyyden lisäys ja maabetonirakenteen kestävyys dynaamisessa kuormituksessa on niin monen tekijän summa, että teoriaa on vaikea muodos-

taa.

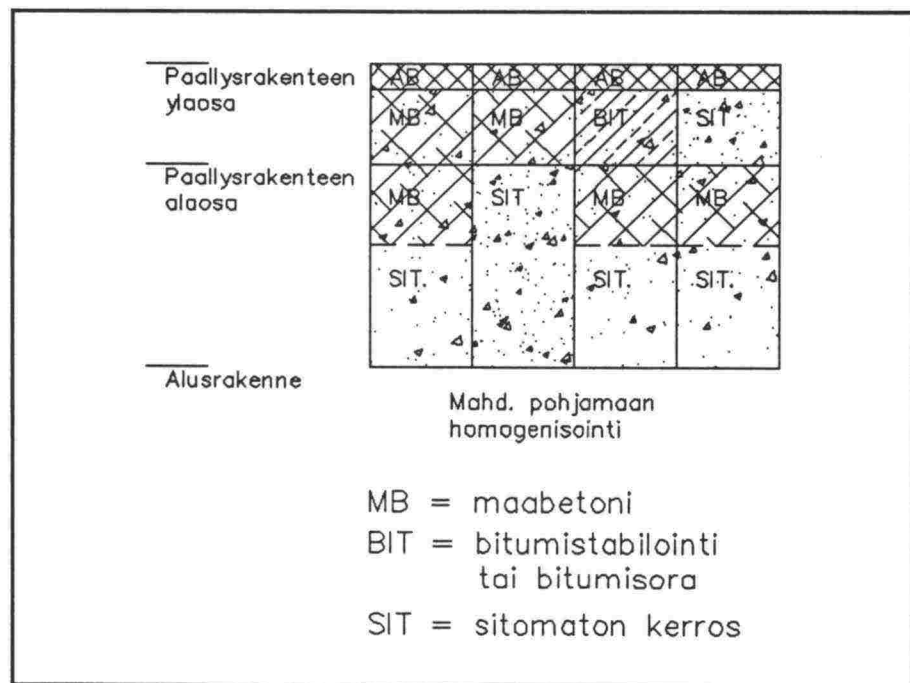
Maabetonin jäykkyysmoduuli voidaan luotettavasti määrittää taipumamittauksilla vasta valmiiksi rakennetun kerroksen päältä. Maabetonin E-moduulin arvojen katsotaan voivan vaihdella 1500 - 15000 MN/m<sup>2</sup> riippuen materiaaleista, suhteistuksesta ja työn onnistumisesta. Suomessa käytetään yleisesti suunnittelussa arvoa 2500 MN/m<sup>2</sup>. E-moduulin arvoa voitaisiin tapauskohtaisesti nostaa ainakin 4500 MN/m<sup>2</sup>:iin.

Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelman (ASTO) seurannassa olleilla koeteilla likimääräiseksi E-moduulin arvoksi saatiin n. tuhat kertaa puristuslujuus./1,2,3./

## 2.3 MAABETONIN KÄYTTÖTAVAT JA VALMISTUS

### 2.3.1 Maabetonin eri käyttövaihtoehdot

Maabetonirakenteen eri vaihtoehtoja on esitetty kuvassa 1.



Kuva 1. Maabetonin eri käyttömahdollisuuksia tierakenteessa /1/

### 2.3.2 Maabetonin valmistusmenetelmät

Maabetonia voidaan valmistaa joko paikallasekoitus- tai asemasekoitusmenetelmällä.

Asemasekoitusmenetelmässä maabetonimassa valmistetaan tarkoitusta varten rakennetulla sekoitusasemalla, jolta valmis maabetonimassa kuljetetaan levityskohteeseen kuorma-autoilla ja levitetään joko asfaltinlevittimellä tai autoon kiinnitettävällä laahaimella. Massan valmistuskapasiteetin tulee olla niin suuri, että levityskone voi edetä pysähdyksittä.

Alustan tiivistys ja oikea muotoilu on tärkeää, koska massa levitetään yleensä tasapaksuna kerroksena eikä pinnan tasaisuutta enää massan levittämisen jälkeen korjata. Asemasekoitus on yleensä edullinen, kun käytetään ulkopuolelta tuotuja korkealuokkaisia kiviaineksia. Asemasekoituksella valmistetun maabetonin laadun on todettu olevan tasaisempaa kuin paikallasekoitetun maabetonin.

Paikallasekoitusmenetelmässä maabetonoidaan jo tierakenteeseen tehty rakennekerros. Ennen sekoitusta suoritetaan tarvittava esikastelu ja sementin levitys erikoislevittimellä tai maataloudessa käytetyillä kalkinlevittimillä. Sementti tulee levittää yhdellä kerralla. Sekoituksen tulee tapahtua erikoissekoittimella yhdellä sekoituskerrolla.

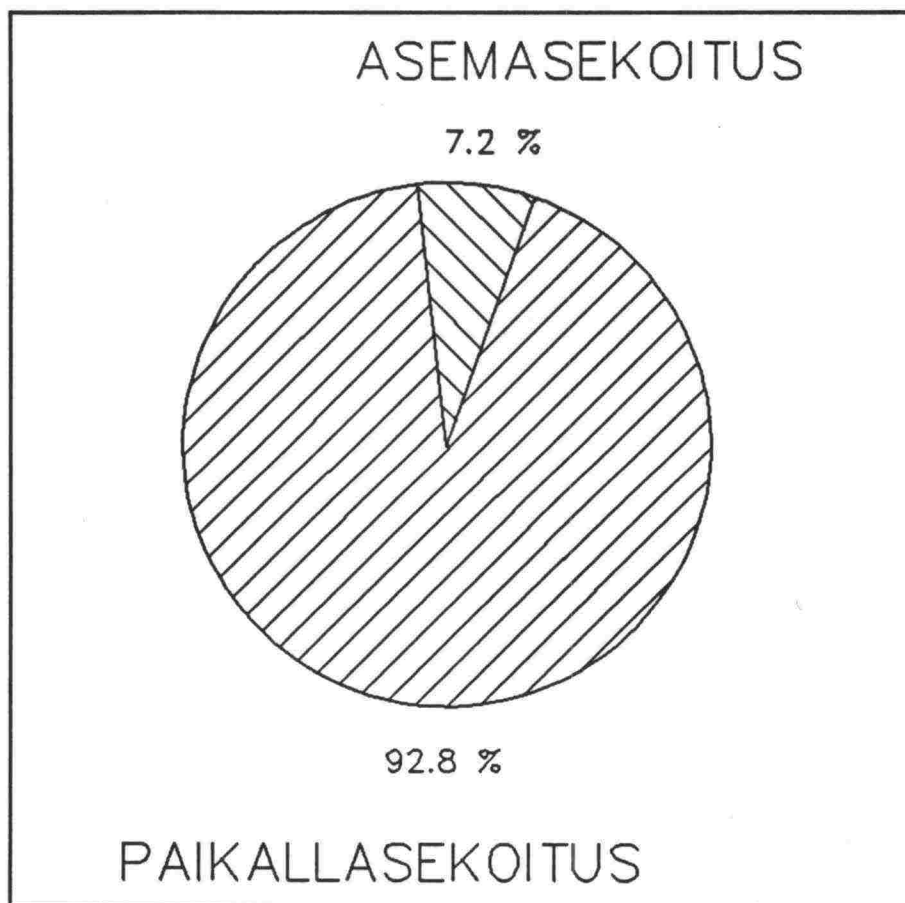
Myös tässä menetelmässä alustan muotoilu ja tiiviys ovat tärkeitä, sillä pohjan ollessa epätasainen saattaa valmiin maabetonin paksuus eri kohdissa vaihdella sekoituksen ja esitiivistyksen jälkeisen muotoilun tasoitettua pohjassa olleet epätasaisuudet.

Paikallasekoitusmenetelmä on edullisimmillaan käytettäessä tiellä jo olevia kiviaineksia. Paikallasekoitetun maabetonin valmistusmenetelmien ja koneiden kehityksen myötä on työn laatu paikallasekoituksessa parantunut ja tasoittunut. Nykyään paikallasekoitettu maabetoni on laadultaan hyvää. Paikallasekoitetun maabetonin valmistuksen kulukaavio on liitteenä 1.

Suomessa asemasekoitteisen maabetonin rakentamista on vaikeuttanut helposti siirrettävän erikoiskaluston vähyys, joten asemasekoitteisen maabetonin hinta ei ole ollut kilpailukykyinen paikallasekoitetun maabetonin kanssa, jonka tekemiseen tarvittavaa erikoiskalustoa on markkinoilla enemmän. Lisäksi työt ovat olleet satunnaisia ja varsin pienimittakaavaisia, joten siirtokustannukset ovat korostuneet hinnassa.

Vuonna 1991 Suomessa tehtiin asemasekoituksella vain 7,2 % kaikesta maabetonista (kuva 2). Ehkä maabetonin käytön kasvaminen rohkaisee hankkimaan lisää tarvittavaa erikoiskalustoa asemasekoitteisen maabetonin valmistamiseksi, jolloin hintaero paikallasekoitetun ja asemasekoitteisen maabetonin välillä tasoittuu. Hintaero on Suomessa tähän mennessä ollut n. 20 - 30 % paikallasekoitetun maabetonin hyväksi./1,2,4,5./





Kuva 2. Maabetonitöiden jakaantuminen sekoitustavan mukaan vuonna 1991

## 2.4 MAABETONIN TARJOAMAT EDUT TIENRAKENTAMISESSA

### 2.4.1 Materiaalien säästäminen

Korkealuokkaisten kiviainesten saaminen tietyömaalle ei ole aina halpaa tai tarjolla on runsaasti huonompilaatuista kiviainesta. Maabetonin avulla pystytään säästämään huomattavasti materiaalikustannuksissa, sillä tielaitoksen mitoitusohjeiden mukaan 15 cm:n maabetoni vastaa n. 40 cm:n murskekerrosta.

Maabetonin avulla pystytään estämään kiviaineksen hienoneminen rakennekerroksessa ja näin voidaan käyttää hyväksi huonompilaatuista kiviainesta, joka muuten ei ehkä juuri

ja juuri kelpaisi sitomattomaan kerrokseen, jota on kuitenkin lähellä rakennuskohdetta.

#### 2.4.2 Kuljetuskustannusten pieneneminen

Tienrakennuksessa käytettyjen materiaalien lopullisesta hinnasta merkittävä osa muodostuu kuljetuskustannuksista. Maabetonin käytöllä päästään pienemmillä massamäärillä, koska sama jäykkyys ja kantavuus saavutetaan ohuemmilla kerroksilla.

Kuljetuskustannukset vaikuttavat myös läjityskustannuksiin ja mikäli maabetonin sijaan käytettäisiin tavanomaista rakennetta olisi päällysrakennetta vahvennettava. Se merkitsisi rakenteessa tasausviivan nostamista tai päällysrakenteen alapinnan laskemista. Mikäli lasketaan päällysrakennetta kasvavat mahdolliset leikkausmassat ja esiin tulevat ongelmat läjityskaatopaikkojen löytämisestä. Nykyaikana varsinkaan perusparannushankkeiden yhteydessä ei läjitysalueiden löytäminen ole yksinkertaista, sillä usein perusparannushankkeet koskevat vilkkaasti liikennöityjä taajama-alueella sijaitsevia teitä.

#### 2.4.3 Hyvä kuormankantokyky

Raskaan liikenteen suuri osuus asettaa vaatimuksia rakenteen jäykkyydelle ja kyvylle vastustaa deformaatiota. Maabetoni on jäykkää ja omaa erinomaiset kantavuusominaisuudet, jolloin raskaan kuormituksen aiheuttamat kiviaineksen hienonemisilmiöt ja deformaatio ovat hallinnassa. Maabetonin avulla rakenteeseen saadaan jäykkyyttä ja lisäkantavuutta minimimassoilla./6./

#### 2.4.4 Ympäristönsuojelu

Maabetonin vaihtoehtona voidaan rakennetta paksuntaa, jolloin kuljettavien massojen määrä kasvaa. Tien leveys

kasvaa. Tasausviivan nostaminen vie ojat ulospäin, samoin tekee päällysrakenteen alapinnan laskeminen mahdollisten kuivatusten takia. Varsinkin taajamaolosuhteissa, joissa nykyään paljon teitä joudutaan rakentamaan tulee panostaa ympäristön säilyttämiseen. Läjitysalueiden löytäminen on kaupunkialueella usein vaikeaa. Esimerkiksi perusparannusprojekteissa joudutaan usein tien tasaus ja leveys pitämään lähes entisellään jo olevien rakenteiden vuoksi tai esimerkiksi maaperän geoteknisen kantavuuden vuoksi ei voida maaperää enää kuormittaa lisämassoilla ilman pohjanvahvistustoimenpiteitä.

### 3 MAABETONI- JA STABILOINTITÖITÄ TURUN TIEPIIRIN ETELÄOSASSA

Maabetonia ja stabilointeja on käytetty tienrakentamisessa jo useiden vuosien ajan. Menetelmien ollessa meillä uusia tehtiin useita koeluontoisia maabetoni ja stabilointikohteita. Kuten voidaan taulukosta 1 havaita, on alkuinnostuksen jälkeen seurannut suvantovaihe, jonka aikana on seurattu tehtyjä töitä. Silloisten menetelmien puutteellisuuksien vuoksi maabetonin ja stabilointien rakentaminen jäi useiden vuosien ajaksi kokonaan Turun tiepiirissä pois.

Myöhemmin menetelmien kehittyessä alkoi maabetonin rakentaminen vilkastua uudelleen. Voidaan sanoa, että maabetonin ominaisuuksien hyväksikäyttö ja maabetonin rakentaminen ei ole vielä ollut huipussaan. Maabetonin käyttö tulee lähivuosina lisääntymään korkealuokkaisten teiden rakentamisen yhteydessä.

Esimerkkeinä taulukossa 1 on esitetty joitain Turun tiepiirin eteläosassa tehtyjä stabilointi- ja maabetonitöitä./7./

Taulukko 1. Kohteita Turun tiepiirin eteläosasta vuosilta 1961 - 1992

KOhteita vuosilta 1961 - 1992				
KOHDE	AIKA	MIKÄ TYÖ/KRS	MÄÄRÄ (m <sup>2</sup> )	SIDEAINE
PAATTISTEN-NIITYNPÄÄN MT 204 TIEOSA 6	1961	KANTAVA	8400	SEMENTTI
VIRTTAAN VARALASKUPAIKKA KT 41	1968	PIENTAREET	60000	SEMENTTI
NOUSIAINEN KK PT 12417	1969	KANTAVA	3000	SEMENTTI
KOSKI KK	1969	KANTAVA	3000	SEMENTTI
VT 1 TURKU	1970 - 1971	POHJAMAA	6050 5500	SEMENTTI KALKKI
VAISTE-MAARIA PT 12268 PLV 0 - 2540	1971 - 1972	JAKAVA	11230 5750	SEMENTTI
SARAMÄEN PT 12265	1979	---	---	SEMENTTI
TURKU-NAANTALI MT 189 PLV 4540 - 4700 PLV 4980 - 5540 E6/R2, VT 8	1987	KANTAVA	2010 6290 1300	SEMENTTI
KT 40, KAUSELA MAKARLA PLV 732 - 1880 PLV 8480 - 9920	1988	KANTAVA	8800 12700	SEMENTTI
SAMPPAAN PT 12151 PLV 2050 - 3870 PLV 4500 - 5100	1988	KANTAVA	5112 3190	SEMENTTI
MJÖSUNDIN PT 12061 PLV 6730 - 7430 PLV 5520 - 5720 PLV 6370 - 6480 PLV 7600 - 8440	ASTO PROJ. 1988	KANTAVA	4200 1200 660 5040	SEMENTTI BITUMI BITUMI BITUMI
HELGEBODA-DEGERDAL PT 12063 PLV 150 - 500 PLV 1280 - 1680 PLV 1050 - 1280 PLV 1870 - 2020 PLV 2470 - 2740	ASTO PROJ. 1988	KANTAVA	2100 2490 1380 900 1620	SEMENTTI SEMENTTI BITUMI BITUMI BITUMI
LOFSDAL-GRANVIK MT 1802 TIEOSA 01	1989	KANTAVA	23400	SEMENTTI
SAAREN PT 12376 TIEOSA 01	1989	KANTAVA	6930	SEMENTTI
TURKU-NAANTALI MT 189 PLV 870 - 930 PLV 6490 - 6640	1989	KANTAVA	1995	SEMENTTI
VANTON PT 12145 PLV 30 - 310	1989	KANTAVA	2020	SEMENTTI
JUVAN PT 12569 PLV 0 - 2780	1989	JAKAVA	19561	SEMENTTI
KT 40 NESTEENTIE (MT 188) PLV 120 - 500 PLV 1900 - 2550 PLV 1420 - 1770	1992	KANTAVA	8307 3495	SEMENTTI
VT 8 RAUMA VT 8 R1 - R5 MT 2052	1992	KANTAVA	25490 8634 8359	SEMENTTI



#### 4 ESIMERKKIKOHDE

Nesteentien (Mt 188) parantaminen välillä Telakkatie-Martinkatu kuuluu osana Kt 40:n perusparannusprojektiin.

##### LIIKENNE

Liikennemäärät maabetonoitavalla tieosalla ovat tierekisterin mukaan:

KVL 3696 ajon/vrk

KVL raskas 443 ajon/vrk

##### MAAPERÄOLOSUHTEET

Suunnittelualue sijaitsee maaperäolosuhteiltaan tyypillisellä Lounais-Suomen rannikkoalueella, jossa maanpinta on hyvin lähellä merenpinnan tasoa, kuivakuorikerros on ohut ja savikerrokset ovat paikoin hyvinkin paksuja.

Maaperäolosuhteiden vuoksi maabetonoitavalle alueelle lähes kauttaaltaan oli suunnitelmissa esitetty joitain pohjanvahvistustoimenpiteitä. Pääasiallisesti pohjamaata on tässä kohteessa vahvistettu kalkki-sementtipilareilla, mutta myös pystyöjitusta on käytetty esimerkiksi Krookilan alueella (plv 190 - 470)./8./

#### 4.1 VAIHTOEHTOJEN VERTAILU JA MITOITUS

##### 4.1.1 Toteuttamisvaihtoehdot

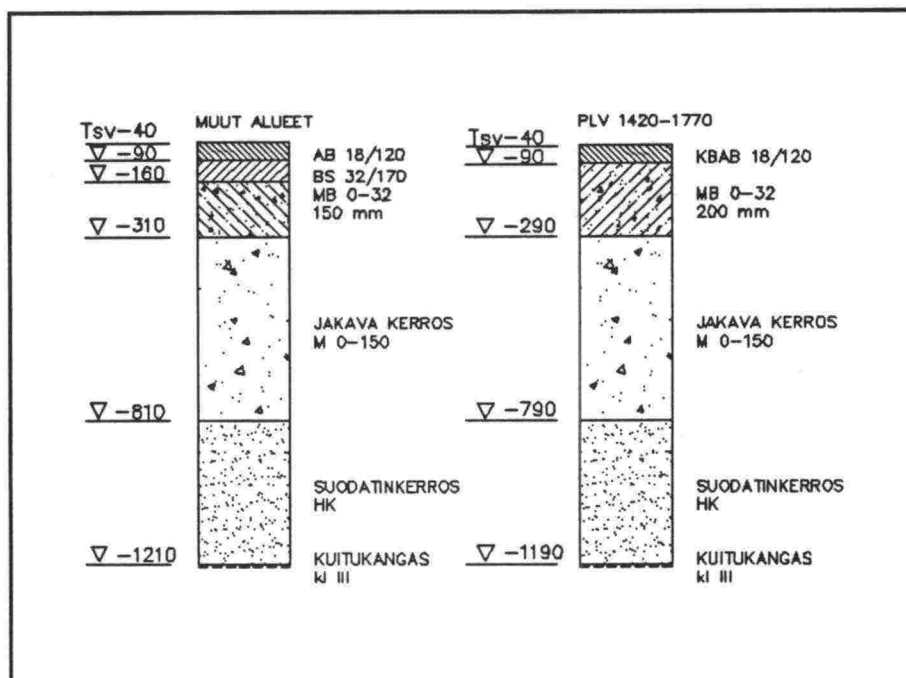
Alkuperäisessä toteuttamissuunnitelmassa vuodelta 1988 Kt40:n parantaminen välillä Telakkatie - Martinkatu on maabetonirakenteeksi suunniteltu vaihtoehtoa, jossa maabetonia on 15 cm ja maabetonin päälle suunniteltiin paksua päällystettä. Kulutuskerroksen alapuolelle on suunniteltu vielä bitumisoraa vahventamaan päällysrakennetta. Päällys-

teen kokonaispaksuus ensimmäisessä vaiheessa on suunnitelmien mukaan 10 cm (liitteet 3 ja 4)./8./

Vaihtoehdoksi esitti keväällä 1992 Partek Oy:n asiantuntija rakennetta, jossa maabetonia tehtiin 20 cm ja päälle tuli ohut 5 cm:n joustava kumibitumipäällyste, eli alkupe-  
räisen toteuttamisvaihtoehdon bitumisoran antama kanta-  
vuuslisäys ja suoja heijastushalkeamia vastaan korvattiin  
maabetonikerroksen paksuntamisella ja joustavalla, mutta  
ohuella päällysteellä.

Ajatuksena on, että kumibitumi joustavana aineena kestää  
murtumatta maabetonin mahdollisen halkeilun vähintään yhtä  
hyvin kuin paksumpi päällyste. Lisäksi vaihtoehdon piti  
toteuttamiskustannuksiltaan jäädä edullisemmaksi kuin pak-  
sun päällysteen vaihtoehto.

Nesteentien maabetonikohteessa haluttiin kokeilla molempia  
vaihtoehtoja. Suunnitelman mukainen vaihtoehto haluttiin  
toteuttaa, mutta haluttiin lisäksi kokeilla uutta toteut-  
tamismallia ja hankkia siitä kokemuksia mahdollisia myö-  
hempiä, maabetonikohteita varten, jolloin olisi jo käsi-  
tyksiä uuden mallin toimivuudesta. Nesteentiellä toteutu-  
neet päällysrakenneratkaisut esitetty kuvassa 3.



Kuva 3. Toteutuneet päällysrakenneratkaisut Nesteentien maabetonikohteessa.

#### 4.1.2 Vertailun tulokset

Vaihtoehtoja vertaillessa on otettu huomioon ainoastaan eri vaihtoehtojen muuttuvat kustannukset:

-maabetonin paksuuden kasvamisen aiheuttama lisä-hinta

Maabetonin lisähinta muodostuu sementin menekin kasvamisesta.

-lisätty murskemäärä

Kantavaa kerrosta joudutaan paksunta-maan.

-kumibitumin lisähinta

Sideaineen hinta on KBAB:ssa n. 2,4 ker-tainen tavallisen AB:n sideaineeseen verrattuna

-pois jäävän bitumisoran antama säästö  
BS on korvattu maabetonilla.

Taulukossa 2 on vertailtu 20 cm:n maabetonivaihtoehtoa 15 cm:n maabetonivaihtoehtoon. Hinnat perustuvat päällysteiden osalta toteutuneisiin kustannuksiin. Murskeen hinta on keskihinta eri varastoista (eri ajomatka) ajetun murskeen hinnalle.

Taulukko 2. Kustannusvertailu, yksikkönä on mk/m<sup>2</sup>

LISÄHINTA		SÄÄSTÖT	
lisätty syvyys (lisä sementti ja murske)	5,48	pois jäänyt BS	14,56
KBAB:n lisähinta	7,00		
yht.	12,48	yht.	14,56
Erotus on 2,08 mk/m <sup>2</sup> ohuen päällysteen vaihtoehdon hyväksi.			

Nesteentien maabetonikohteella hintaeron koeosuuden ja perinteisesti toteutetun maabetonin välillä piti olla todellisuudessa 2,32 mk/m<sup>2</sup>, mutta BS:n hinta halventui sideainepitoisuuden muutoksen vuoksi.

Hintaero tasoittuu, mikäli bitumisoraa ei liimata maabetoniin. Liimauksen hinta tällä kohteella oli 1,38 mk/m<sup>2</sup>. Liimaus on kuitenkin suotavaa, sillä se varmistaa, ettei päällysteen irtoaminen maabetonin pinnasta missään olosuhteissa ole mahdollista ja samalla liiman ruiskutus poistaa jälkihoidon tarpeen.

Voidaan todeta ohuen päällysteen vaihtoehdon olevan houkutteleva kilpailukykyisen hintansa vuoksi. Työvaiheita

tulee työmaalle vähemmän ja aikaa säästetään, kun päällystys suoritetaan vain yhteen kertaan. Työn tasaisuuteen on kuitenkin kiinnitettävä runsaasti huomiota, sillä ohut päällyste ei juuri salli epätasaisuuksia ilman, että ne heijastuisivat tien pintaan.

#### 4.1.3 Mitoitus

Mitoituksen maabetonille oli suorittanut koko kohteen Telakkatie-Martinkatu suunnitellut VIATEK OY. Suunnittelija oli suorittanut maabetonoitavan rakenteen kantavuusmitoituksen ja routamitoituksen. Suunnittelija oli jättänyt hankkeen johdon päätettäväksi lopulliset lujuustavoitteet ja sementtimäärät antaen työkohtaisessa työselityksessä puitteet lopullisille arvoille.

Suunnitelmassa esitetyt puitteet:

Lujuustavoite        5 - 6 MN/m<sup>2</sup>

Sementtimäärä        n. 4 % kuivairtotiheydestä

Mitoituksen lähtökohdaksi otettiin puristuslujuustavoite 8 MN/m<sup>2</sup>, koska Nesteentiellä on runsaasti raskaita kuljetuksia.

#### 4.2 ENNAKKOKOKEET

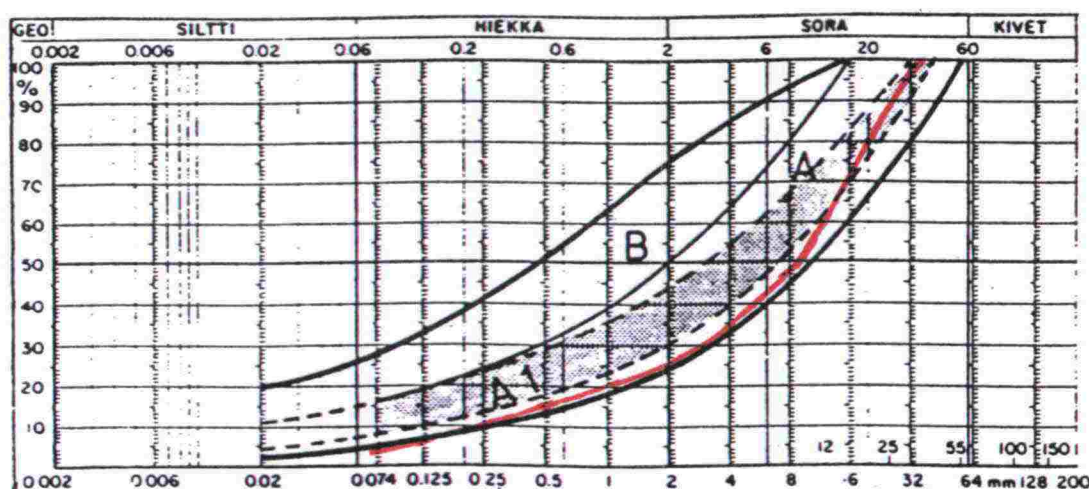
##### 4.2.1 Eri kokeet ja niiden suoritus

Kaikki ennakkokokeet on suoritettu Turun tiepiirin keskuslaboratoriossa touko- kesäkuussa 1992.



#### 4.2.1.1 Rakeisuus

Kiviaineksen rakeisuutta ei erikseen tutkittu, sillä käytössä oli kiviaineksen murskaamisen yhteydessä tehtyjen laadunvarmistustutkimusten keskiarvokäyrä. Laadunvarmistuksen kiviainesta murskattaessa oli tehnyt projekti 40 omana työnään. Kun maabetonia esimitoitettiin, ehdotti Partek Oy:n asiantuntija maabetonin runkoaineen rakeisuuden parantamista lisäämällä siihen hiekkaa. Hiekan lisäämisellä olisi saatettu säästää sementin määrässä. Tähän prosessiin ei kuitenkaan haluttu ryhtyä työn vaikean teknisen toteutettavuuden vuoksi. Maabetonin runkoaineen rakeisuuskäyrä ja ohjealueet on esitetty kuvassa 4. Käytetyn murskeen rakeisuuden keskiarvokäyrä on myös liitteenä 2.



Kuva 4. Maabetonin runkoaineen rakeisuuskäyrä ja ohjealueet /2/

#### 4.2.1.2 Humus

Kiviaineksen sisältämä humus tutkittiin NAOH-kokeella Murskaustöiden yleiset laatuvaatimukset ja työselitys, TIEL 2212809 -julkaisun mukaan. Yleensä värittömät tai vaalean kellertävän värin antavat kiviainekset kuuluvat

luokkiin 0 - II ja kelpaavat sellaisenaan maabetonin runkoaineeksi. Mikäli väri on ruskea, sementin sitoutumisreaktioiden nopeus ja lujuuden kehitys tutkitaan puristuslujuuskokeiden avulla. Yleensä 1 - 2 %-yksikön sementin lisäys riittää neutraloimaan humuksen vaikutuksen./2./

Suoritetuissa humustutkimuksissa ei havaittu runkoaineeksi suunnitellun kalliomurskeen sisältäneen humusta. Värin muutos humuskokeessa oli tuskin havaittava.

#### 4.2.1.3 ICT-laitteella suoritettut kokeet

ICT-laitteella (INTENSIVE COMPACTION TESTIGN) määritettiin optimivesipitoisuus ja maksimikuivairtoteiheys sekä valmistettiin koekappaleet.

ICT-tutkimuslaite tiivistää massanäytteen paineen ja taseisen leikkausliikkeen avulla. Tiivistyksen voimakkuutta pystytään säätämään muuttamalla työpainetta tai laitteen tekemiä tiivistyskierroksia. ICT-laitteen näytesylinterin koon vuoksi (halkaisija 100 mm, korkeus 100 mm) jouduttiin tutkittavan kiviaineksen maksimiraekoko rajoittamaan 16 mm:iin.

On olemassa myös ICT-laitteita, joilla tutkittava massa saadaan aina työmäärästä riippumatta tiivistettyä samaan vakiotiiveyteen. Tämän tyyppinen laite saataisi olla maabetonia tutkittaessa parempi, sillä työmaalla pyritään maabetoni tiivistämään mahdollisimman pienellä työmäärällä vaadittuun tiiveyteen. Vakiotiiveyttä käytettäessä saataisivat laadunvalvontatulokset olla lähempänä todellista rakenteessa olevaa tilaa./9./

Optimivesipitoisuus ja maksimikuivairtoteiheys määritettiin kiviainekselle siten, että kokeissa käytettiin kolmea eri vesipitoisuutta ja kolmea eri sementtipitoisuutta. Tutkimuksia varten haettiin tietyömaan alueelle tehdystä varas-

tokasasta kiviainesta noin 100 kg. Noin 50 kg kiviainesta haettiin lisäksi asfalttiaseman kuljetushihnalta massanteon yhteydessä. Kiviainesnäytteiden oletettiin vastanneen hyvin murskauksen keskiarvokäyrää.

Kiviaines oli kalliomursketta 0 - 32 mm, joten se oli em. syistä katkaistava 16 mm:n kohdalta. Seulonnan jälkeen kiviaines kuivatettiin uunissa huolellisesti.

Kuivaamisen jälkeen aloitettiin varsinainen koekappaleiden valmistaminen. Aluksi suoritettiin tarvittavat laskelmat sekoitussuhteiden selvillesaamiseksi. Koekappaleiden teossa käytetyt sekoitussuhteet näkyvät taulukoissa 3 - 5.

Taulukko 3. Sekoitussuhteet, kun sementtiä oli 4 %

		kosteus-%		
		3.6	4.3	5.0
vettä	g	95.2	113.2	130.8
sementtiä	g	73.3	72.6	71.9
mursketta	g	1831.5	1814.2	1797.3
yhteensä	g	2000.0	2000.0	2000.0

Taulukko 4. Sekoitussuhteet, kun sementtiä oli 5 %

		kosteus-%		
		3.6	4.3	5.0
vettä	g	95.2	113.2	130.8
sementtiä	g	90.7	89.8	89.0
mursketta	g	1814.1	1797.0	1780.2
yhteensä	g	2000.0	2000.0	2000.0



Taulukko 5. Sekoitussuhteet, kun sementtiä oli 6 %

		kosteus-%		
		3.6	4.3	5.0
vettä	g	95.2	113.2	130.8
sementtiä	g	107.8	106.8	105.8
mursketta	g	1797.0	1780.0	1763.4
yhteensä	g	2000.0	2000.0	2000.0

Lopullisen sementti- ja vesipitoisuuden määrittämiseksi aloitettiin ennakkokoekappaleiden valmistus em. reseptien mukaan. Käytössä oli ICT-laitteen lisäksi sekoitusastioita, digitaalivaaka sekä kaksi säilytysastiaa koekappaleita varten. Koekappaleiden valmistukseen käytettiin maabetonoitavaksi aiotun murskeen lisäksi yleissementtiä ja vesijohtovettä.

Aluksi mitattiin kuiva-aineet sekoitusastiaan ja pienen sekoituksen jälkeen punnittiin joukkoon tarvittava vesimäärä. Näytettä sekoitettiin käsin, jonka jälkeen yllämainituista kahden kilon sekoituseristä ICT-laitteen näytesylinteriin pantiin jokaisella kerralla tasan 1900 g sekoitettua massaa. Seuraavaksi sylinterissä ollut näyte tiivistettiin ICT-laitteella ja tiivistyksen jälkeen näyte siirrettiin säilytysastiaan. Näytteiden säilytyslämpötila vaihteli kulloisenkin laboratorion sisälämpötilan mukaan.

Ennakkokoekappaleita valmistettiin yhteensä 24 kpl, joista säilytysastiaan laitettaessa hajosi yksi kappale. Kaikkia kappaleita valmistettaessa käytettiin ICT-laitteessa painetta 5,0 bar ja tiivistyskierroksia ICT-laite teki jokaiselle koekappaleelle sata. Kaikki osa-ainekset punnit-

tiin tarkasti ja käytetyn kiviaineksen lajittumista koetettiin varoa. Sekoitus, puristus sekä kaikki muukin käsittely koekappaleille pyrittiin suorittamaan jokaisella kerralla samalla tavalla.

#### 4.2.1.4 Puristus

Kaikki ennakkokoekappaleet olivat vesisäilytyksessä 7 vuorokautta, joten kappaleiden lujuusarvoja voitiin suoraan käyttää maabetonin tavoitelujuuden määrittämiseen.

Ennakkokoekappaleet puristettiin Turun tiepiirin keskuslaboratorion puristimella. Koestamisen aikana puristuskuormaa lisättiin ennakkokoekappaleille 3.0 kN/s. Saatuja puristuslujuustuloksia ei tarvitse korjata millään kertoimella, sillä ICT-laitteen tekemien kappaleiden korkeus ja halkaisija ovat yhtä suuret (100 mm). Ennen puristamista kaikki koekappaleet olivat vesiupotuksessa neljä tuntia. Koekappaleiden päitä ei ennen puristusta tasoitettu.

#### 4.2.2 Ennakkokokeiden tulokset

Ennakkokokeista saadut tulokset on esitetty taulukoissa 6 ja 7. Taulukossa esiintyvät luvut on korjattu vastaamaan todellista maabetonin runkokiviaineksen rakeisuutta kivisyyskorjaimella. Kivisyyskorjain maabetonin runkoaineena käytettävälle murskeelle oli 0.11 t/m<sup>3</sup>. Ennakkokokeiden tulokset ovat liitteenä 8.

Taulukko 6. Ennakkokokeiden tulokset

puristuslujuus = pur.luj.

kuivairtoteihs = tih.

sementti = sem.

	kosteus-%					
	3.6 %		4.3 %		5.0 %	
	pur. luj.	tih.	pur. luj.	tih.	pur. luj.	tih.
	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
4 % sem.	5.0	2299	4.8	2341	5.4	2387
	4.5	2288	5.1	2327	5.1	2370
	4.8	2307	4.8	2310	-	-
5 % sem.	5.4	2310	7.3	2355	6.1	2356
	5.1	2298	6.6	2343	5.1	2388
	6.0	2298	6.4	2325	-	-
6 % sem.	7.0	2313	8.5	2351	7.1	2389
	7.0	2310	8.9	2350	6.0	2368
	6.9	2316	-	-	-	-

Taulukko 7. Keskiarvot tuloksille

puristuslujuus = pur.luj.

kuivavirtotiheys = tih.

sementti = sem.

sem.-%	kosteus-%					
	3.6		4.3		5.0	
	pur. luj.	tih.	pur. luj.	tih.	pur. luj.	tih.
	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>	MN/m <sup>2</sup>	kg/m <sup>3</sup>
4	4.8	2299	4.9	2326	5.3	2379
5	5.5	2302	6.8	2340	5.6	2372
6	7.0	2313	8.7	2351	6.6	2378

## 4.2.3 Päätelmät

## SEMENTTIPITOISUUS

Tulosten perusteella voidaan todeta, että alkuperäisen lujuustavoitteen (8 MN/m<sup>2</sup>) saavuttaminen edellyttää työssä käytettävän korkeaa sementtiprosenttia (6). Korkea sementtiprosentti nostaa maabetonin hintaa ja pienentää näin maabetonin kannattavuutta rakenteessa.

Tavoitelujuus päätettiin laskea 6.5 MN/m<sup>2</sup>:iin, jotta välttyttiin korkealta sementtipitoisuudelta. Lopulliseksi sementtipitoisuudeksi valittiin 5 % maksimikuivavirtotiheydestä. Tämä pitoisuus vastaa sementtimäärää 117 kg/m<sup>3</sup>.



## VESIPITOISUUS

ICT-laitteen antamien maksimikuivairtotehiyksien mukaan optimivesipitoisuus oli 5 %. Puristuslujuustulokset huomioon otettuna päädyttiin maabetonointityössä käyttämään 4.3 % vesipitoisuutta.

## MAKSIMIKUIVAIRTOTEIHEYS

Maksimikuivairtotehiyden arvoksi saatiin tutkimuksissa 5 % vesipitosuudella 2379 kg/m<sup>3</sup>. Käytännön maabetonointisuoritusta varten valittiin vesipitoisuudeksi 4.3 %, millä prosentilla maksimikuivairtotehiys oli 2340 kg/m<sup>3</sup>.

## 4.3 MAABETONIN VALMISTUS

Maabetonin valmistus ajoittui ajalle 1.7.1992 - 2.7.1992. Sää mainittuna aikana oli enimmäkseen pilvipoutaista. Vain hetkittäin satoi tihkusadetta. Päivän lämpötilat vaihtelivat aamun +15 °C:ta iltapäivän +22 °C:een.

### 4.3.1 Käytetty kalusto

#### SEKOITIN

Sementin sekoitukseen Nesteentien maabetonityömaalla käytettiin Ranskalaista RABAUD RA-CO 250 -konetta (kuva 5). Koneen sekoitusleveys on 2500 mm ja maksimi sekoitusvyvyys on 420 mm. Koneen työpaino on 17.6 tn ja työskentelynopeus on noin 15 m/min. Koneen maksimikapasiteetti on noin 1000 m<sup>2</sup>/h eri työvaiheet huomioiden. Koneessa on 453 hv:n moottori ja koneen kokonaisleveys on 2990 mm. Koneessa sekoitusrumpu pyörii kulkusuuntaa vastaan ja rumpu on sijoitettu etu- ja taka-akselin väliin. Rummun pyörimisnopeus voidaan säätää portaattomasti välillä 0 - 180 rpm./10./

Lisäveden syöttöä varten sekoitin työnsi edessään vesi-autoa, josta sekoittimen päällä oleva polttomoottoripumppu imi tarvittavan lisäveden ja ruiskutti sen rummun suoja-

kannessa olevista suuttimista maabetonin joukkoon sekoituksen aikana oikean kosteuden aikaansaamiseksi.

Koneen rummun ja rummunsuojan välistä tilavuutta oli talviseisokin aikana muutettu, ettei kone sekoitusta aloittaessaan enää siirtänyt sekoitettavaa materiaalia siten, että lähtöpäähän olisi jäänyt kuoppa ja lopetuspäähän paakku. Tämä käyttäytyminen oli aikaisemmin tällä koneella tehdyissä maabetonitöissä ollut haittana, sillä alku- ja loppusaumoihin saattoi tulla epätasaisuutta tien pituussuuntaan mikäli kohdat vielä muotoiltiin huolimattomasti. Nyt tehdyssä maabetonoinnissa tätä ongelmaa ei enää ollut, vaan saumat olivat tasaiset.



Kuva 5. Sekoitin RABAUD RA-CO 250

# SEMENTIN LEVITIN

Sementin levitykseen käytettiin työmaalla STABI-LEKSA 15 laitetta (kuva 6). Laitteeseen pumpataan sementti paineilman avulla säiliöautosta. STABI-LEKSA 15 pystyy kerralla ottamaan sementtiä noin 15 tn. Sementin levityksen suorittaa leveä hihnakuljetin. Laitteen työskentelyleveys on sama kuin sekoittimen ja se pystyy levittämään sementtiä normaalisti yhdellä levityskerralla muutamasta kilosta 40 kg:aan saakka neliötä kohti. Koneen kapasiteetti on hieman suurempi kuin sekoittimen, n. 32 t/h eli n. 1800 m<sup>2</sup>/h. Koneen työpaino on n. 25 tn, laite on suunniteltu ketteräksi, yhdistelmä pystyy kääntymään 8.5 m leveällä tiellä. Yhdistelmän työnopeus on 3 - 5 km/h. STABI-LEKSA 15 -laite on kehitetty Suomessa ja otettu käyttöön v. 1989. Näitä levittimiä on Suomessa kaksi kappaletta./11./

Levittimen tarkkuus on tehdyissä maabetonikohteissa todettu hyväksi ja laite on ehkä tarkin tällä hetkellä Suomessa käytössä olevista sementinlevittimistä.



Kuva 6. Sementin levitin STABI-LEKSA 15



#### TIIIVISTYS- JA MUOTOILUKALUSTO

Valmis maabetoni tiivistettiin kahdella jyrällä (kuva 7). Urakoitsijalla oli käytössään JTM 06, jota käytettiin esitiivistykseen sekä lopulliseen tiivistykseen käytetty JTM 09. Maabetonin muotoilua varten urakoitsija oli tuonut työmaalle 14 t:n tiehöylän. Muotoilusta ja tiivistyksen onnistumisesta vastasivat lisäksi kaksi työmiestä, jotka koko ajan seurasivat tiiveyden kehittymistä TROXLER-laitteella ja tasaisuutta oikolaudalla mitaten.



Kuva 7. Tiivistys- ja muotoilukalusto



#### JÄLKIHOITOKALUSTO

Maabetonin jälkihoito oli tarkoitus suorittaa vesikasteluna urakoitsijan toimesta. Jälkihoitokastelu oli määrä tehdä samalla vesiautolla, josta maabetonin joukkoon tuleva lisävesi otettiin. Koska maabetoni kuitenkin haluttiin rakennuttajan toimesta päällystää mahdollisimman pian, ruiskutettiin maabetonin pintaan emulsio K-0 (kuva 8). Ruiskutteen pääasiallisena tarkoituksena oli varmistaa päällysteen hyvä tarttuminen maabetoniin, mutta samalla ruiskute ehkäisi maabetonin ennen aikaisen kuivumisen. Ennen emulsion ruiskuttamista suoritettiin jälkihoitokastelua vesiautolla.



Kuva 8. Jälkihoitoaineen ruiskuttamista maabetonin pintaan

#### 4.3.2 Työn suoritus

##### 4.3.2.1 Käytetyt materiaalit

###### MURSKE

Maabetonin runkoaineena ollut kiviaines oli kalliomursketta 0 - 32 mm. Kalliomursketta oli ajettu työmaa-alueelle jo murskaamisen aikana varastoon. Työn edetessä kalliomursketta tuotiin työmaalle lisää projekti 40:n eri varasto-alueilta.

###### SEMENTTI

Kiviaineksen sitomiseen käytettiin tällä kohteella yleis-sementtiä Y40/28. Urakoitsija tilasi sementin kohteelle ja se toimitettiin työmaalle säiliöautoilla.

###### VESI

Maabetonin valmistukseen päädyttiin käyttämään merivettä. Meriveden sopivuus tähän tehtävään varmistettiin. Meriveden käyttöön päädyttiin lähinnä sen helpon saatavuuden vuoksi, meriveden ottopaikka oli keskimäärin 4.2 km:n päässä työmaalta. Meriveden käyttöä puolsi lisäksi vedenottopaikalla jo ollut pumppu.

##### 4.3.2.2 Työn kulku

###### ENSIMMÄINEN TYÖVUORO

Urakka aloitettiin 1.7. aamulla työmaan esittelyllä ja alkukosteuksien ja -tiiveyksien kertomisella urakoitsijalle. Urakoitsijan vastaanotettua ensimmäisen maabetonoitavan alueen pohjat sementin levitys pääsi alkamaan Krookilan risteyksen alueella plv 100 - 500 klo 8.45. Maabetonin sekoitus alkoi klo 9.05. Pohjan kosteus Krookilan alueella oli riittävä, joten esikastelua ei tarvittu.

Heti sekoituksen jälkeen alkoi esitiivistys. Ensimmäisellä maabetonoitavalla kohteella (Krookilan risteysalueella)



urakoitsijalla oli käytössä vain yksi jyrä. Jyrän tiivistettyä sekoitetun maabetonin alustavasti alkoi maabetonin muotoilu tiehöylällä. Höylä pyrki mahdollisimman vähällä massan siirtelyllä saamaan ajoradalle oikean poikkileikkausmuodon.

Muotoilun jälkeen alkoi lopullinen tiivistys. Maabetonin tiivistämiseksi vaadittuun tiiveyteen tarvittiin tällä kohteella 5 - 8 jyräyskertaa. Urakoitsija sai Krookilan alueen plv 100 - 500 maabetonoinnin valmiiksi sekoituksen osalta klo 11.45 ja tiivistyksen sekä muotoilun osalta klo 13.30 .

Seuraavaksi maabetonointikalusto siirtyi Eeronkujan risteykseen paalulle 2040. Siellä työt alkoivat klo 14.00 ja loppuivat tiivistyksen osalta klo 18.45 paalulle 2310.

Ensimmäisen työvoron aikana urakoitsija rakensi maabetonia kantavaan kerrokseen 5519 m<sup>2</sup>, sementtiä kului 97 tn.



Kuva 9. Maabetonointityö käynnissä

## TOINEN TYÖVUORO

Torstaina 2.7. sementin levitys aloitettiin paalulta 2310 klo 9.30 ja sekoituskalusto lähti liikkeelle klo 9.45. Urakoitsija sai valmiiksi 15 cm:n paksuisen maabetonin rakentamisen klo 15.00 ja siirtyi koneineen paalulle 1770, jolta työt aloitettiin koeosuuden, jossa maabetonin paksuus oli 20 cm, rakentamisella klo 15.45. Maabetonityöt saatiin päätökseen kokonaisuudessaan klo 21.30.

Jälkihoitokastelua jouduttiin suorittamaan edellisenä päivänä tehdyille maabetonille liian nopean kuivumisen ehkäisemiseksi.

Toisen työvuoron alussa urakoitsija alkoi jo esitiivistyksessä käyttää jyrätessä täryä, tämän huomattiin nopeuttavan vaadittuun tiiveyteen pääsemistä. Toisena työvuorona tehtiin maabetonia  $2788 \text{ m}^2$  15 cm:n paksuisena ja  $3495 \text{ m}^2$  20 cm:n paksuisena.

Maabetonia tehtiin yhteensä  $11802 \text{ m}^2$ . Urakoitsija teki maabetonia  $8307 \text{ m}^2$  15 cm:n paksuisena ja  $3495 \text{ m}^2$  20 cm:n vahvuksena. Sementin kokonaiskulutus oli työmaalla 227,75 tn. Pitoisuudet olivat  $17,55 \text{ kg/m}^2$  (mb 15 cm) ja  $23,4 \text{ kg/m}^2$  (mb 20 cm). Määrät vastaavat 5 % sementtipitoisuutta.

## 4.3.3 Työsaumat

Työn edetessä pituussuuntaisia saumoja ei tarvinnut tehdä ja ne olisi sallittukin vain mikäli liikennejärjestelyt olisivat niin vaatineet tai mikäli viereisen kaistan tiivistämisestä olisi kulunut yli 2 tuntia.

Poikkisuuntainen sauma tehtiin aina, kun työ keskeytyi yli kahdeksi tunniksi esimerkiksi viereisen kaistan maabetonoinnin takia tai työn illalla päättyessä.



#### 4.3.4 Kapasiteetit

Työn kuluessa huomattiin, että sekoitusjyrsimen ja sementinlevittäjän kapasiteetit olivat suuremmat kuin tiivistys- ja muotoilukaluston. Mikäli työtä olisi vielä haluttu nopeuttaa olisi ollut mahdollista ottaa käyttöön enemmän tiivistys- ja muotoilukalustoa.

Tällä työmaalla jyrsimen kapasiteetti oli n. 900 m<sup>2</sup>/h. Työmaakohtaiseen kapasiteettiin vaikuttivat maabetonikohteiden toteuttaminen osa kerrallaan liikennejärjestelyjen takia.

#### 4.3.5 Jälkihoito

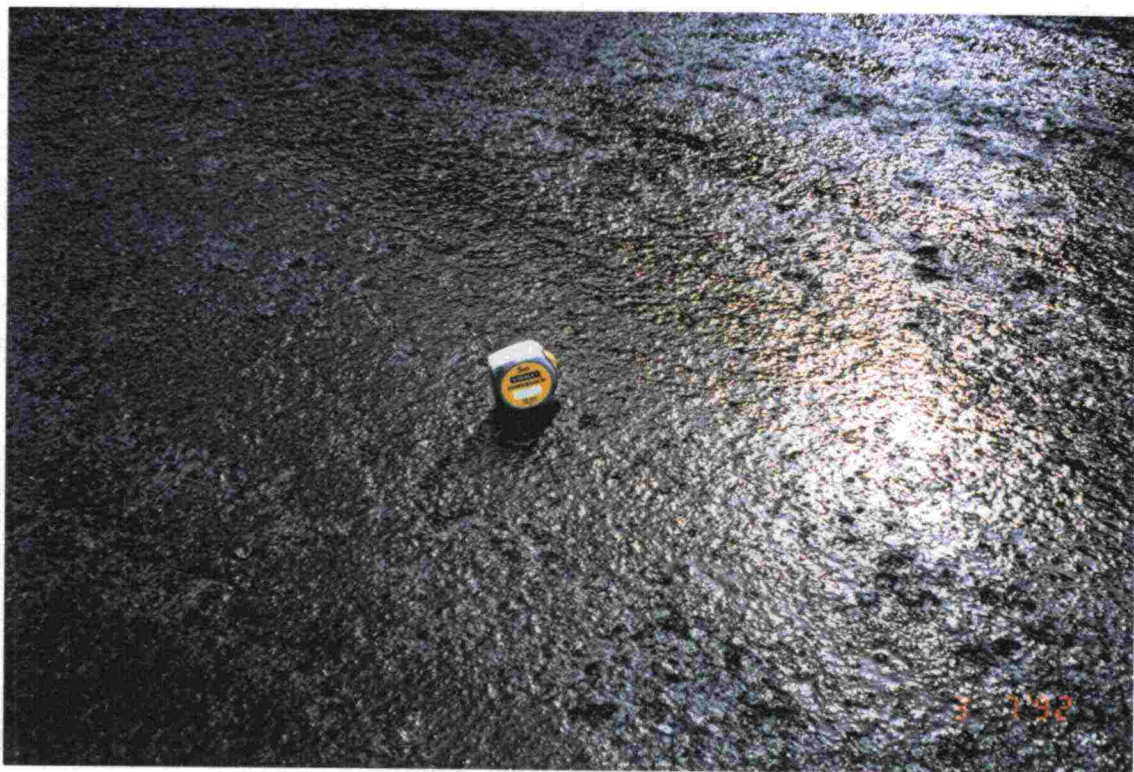
Kuten jo edellä on mainittu oli alunperin tarkoitus, että maabetonin jälkihoito suoritetaan vesikasteluna. Koska työmaan- ja projektinjohto halusivat maabetonin mahdollisimman nopeaa päällystämistä, ruiskutettiin maabetonin pintaan emulsio K-0, joka toimii jälkihoitoaineena. Jälkihoitoaineen ruiskutus suoritettiin maabetonitöiden loppumista seuranneena päivänä. Emulsio varmistaa samalla päällysteen ja maabetonin hyvän tartunnan (kts. kuva 10).

Nopea päällystys edistää maabetonin toivottua verkkohalkeilua ja vähentää ei toivotun odottamattoman halkeilun mahdollisuutta.

Varhaisen päällystyksen suotuisa vaikutus perustuu maabetonin heikkoon lujuuteen päällystyshetkellä, jolloin rasakat päällystyskoneet ja massa-autot painollaan rikkovat kovettuvan maabetonin pinnan toivotulla tavalla. Lisäksi päällyste maabetonin päällä ehkäisee veden haihtumista maabetonista, jolloin maabetonin jälkihoito on samalla suoritettu.

Emulsion ruiskutusmäärä oli 0.55 kg/m<sup>2</sup>, pienempi määrä

näytti jättävän emulsiokalvon pinnan liian harvaksi, jolloin suoja haihtumista vastaan olisi ollut puutteellinen.



Kuva 10. Emulsiolla suojattu maabetonin pinta.

#### 4.3.6 Päälystys

Maabetonoidun tiealueen päälystyöt aloitettiin perjantaina 3.7. siten, että päälystystyöt alkoivat Krookilan risteyksalueelta plv 100-500 ja emulsion ruiskutus paalulta 1400. Tarkoitus oli, että kaikki maabetonoidut alueet, mitä ei ehditty päälystää perjantain aikana, tulivat suojatuiksi ruiskutteella K-0.

Perjantaina ehdittiin päälystää BS:lla kokonaan Krookilan alue sekä plv 1900-2293 4,6 m leveä kaista uuden ajoradan oikeaa reunaa. Muulle alueelle (ei kiertoteiden kohdille) ruiskutettiin emulsio K-0. Kiertotiet menivät työn alla olleen tien poikki paaluilla 2050 ja 2300.



Maanantaina 6.7. päällystettiin loput alueet bitumisoralla, lukuunottamatta plv 1420-1770 (koealue), joka päällystettiin kumibitumipäällysteellä. Lopullinen päällyste maabetonin päälle tehtiin juuri ennen koulujen alkamista 16.8. Kartat maabetonoidusta alueesta ovat liitteinä 5 - 7.



Kuva 11. Päällystystyö käynnissä

#### 4.3.7 Liikenteelle otto

Nesteentien maabetonoitu alue otettiin kiertoteiden kohtia lukuunottamatta liikenteelle vasta koululaisten kesälomien loppuessa 17.8. (kiertotiet otettiin liikenteelle heti maabetonin rakentamisen jälkeisenä päivänä).

Nesteentiellä koko parantamisen ajan ollutta 16 t:n painorajoitusta ei vielä tässä vaiheessa poistettu, sillä tällöinkin liikenteeltä suljetuksi jäi vielä koealue plv 1420 - 1770. Raskaat ajoneuvot käyttivät edelleen kierotietä työmaan ohi. Kokonaisuudessaan Nesteentie välillä Telakka-

tie-Martinkatu avattiin liikenteelle 29.10. 1992.

#### 4.4 LAADUNVARMISTUS JA TULOKSET

Laadunvarmistusmenetelmät suunniteltiin etukäteen työryhmässä Turun tiepiirin keskuslaboratoriossa. Työryhmä laati valvontaa helpottavat kaavakkeet näytteiden ottamisen seuraamiseksi ja jaksottamiseksi. Sovittiin menetelmistä ja työjaosta, sekä tarkistettiin käytettävien koneiden ja laitteiden kunto ja toimivuus. Huoltoa vaativat välineet huollettiin. Laitteet kerättiin odottamaan tositoimia.

##### 4.4.1 Vesipitoisuus

Maabetonin vesipitoisuutta mitattiin TROXLER-laitteella. Käytössämme oli toinen Turun tiepiirin Troxler-laitteista.

Vesipitoisuuden tuli laboratoriotutkimusten perusteella olla 4.3 %, mitatun arvon tarkkuusvaatimuksiksi oli annettu +/- 1 %. Tarvittava lisävesi oli kyettävä ruiskuttamaan sekoituskoneen kautta suoraan sekoitettavan maabetonimassan joukkoon. Kosteusmittausten tulokset on esitetty taulukossa 8. Troxler - mittausten tulokset on esitetty liitteessä 9.

Taulukko 8. Tulokset maabetonin kosteusmittauksista

KOSTEUSMITTAUKSET		
mittausten lukumäärä	36	kpl
mittausten keskiarvo	4.7	%
maksimikosteus	6.1	
minimikosteus	3.0	
keskihajonta	0.8	



Kuten tuloksista havaitaan, olivat kosteusvaihtelut melko suuria. Syynä tähän oli mahdollisesti pohjakosteuden epätasaisuus. Sekoituskoneen kautta lisävettä syötettäessä ei pystytä enää vaikuttamaan suurestikaan kosteuden jakautumiseen maabetonoitavan tien pituussuunnassa. Kone ruiskuttaa lisävettä saman määrän koko leveydelle. Sekoituskoneen päällä olevan pumpun kierroksia ja sekoitusjyrsimen ajonopeutta muuttamalla pystytään vesimäärää tilavuusyksikköä kohti suurentamaan tai pienentämään.

Tasaisen kosteuden aikaansaaminen maabetoniin edellyttää urakoitsijalta huolellisia ennakkomittauksia ja riittävää ennakkokastelua.

#### 4.4.2 Tiiviys

Maabetonin tiiveyttä mitattiin myös TROXLER-laitteella. Maabetonin tiiviyden yksittäisen arvon tuli olla vähintään 92 % parannetusta proctortiiviydestä. Keskimääräisen tiiviyden oli oltava vähintään 97 % parannetusta proctortiiviydestä. Maabetonin tiiviysmittausten tulokset on esitetty taulukossa 9. Troxler - mittausten tulokset on esitetty liitteessä 9.

Taulukko 9. Tulokset maabetonin tiiviysmittauksista

TIIVIYSMITTAUKSET		
mittausten lukumäärä	36	kpl
mittausten keskiarvo	98.2	%
maksimitiiviys	103.4	
minimitiiviys	89.5	
keskihajonta	2.7	

Tiivistystulosten hajonta on suhteellisesti pienempi kuin

kosteustulosten, tämä johtuu siitä, että työmäärä tiivistettäessä oli koko ajan melko vakio ja maabetoni oli normaalisti helposti tiivistettävissä yli vaaditun minimitiiviuden. Tasaiseen tiiviyyteen pääsemisessä auttoi myös esitiivistysvaiheen aikainen täryn käyttö toisen työvuoron alusta lähtien.

#### 4.4.3 Sementtimäärä

Sementin menekin tarkkailemiseksi oli laboratoriosta tuotu työmaalle vaaka ja punnitusastia. Sementin levityksestä vastanneella alaurakoitsijalla oli käytössään mainittuun tehtävään paremmin sopivat välineet, joten vertailupunnitusten jälkeen käytettiin valvontamittauksissa alaurakoitsijan vaakaa ja 0.25 m<sup>2</sup> peltilaatikkoa. Laatikko oli suunniteltu sementinlevittimen raidevälille sopivaksi.

Sementin levityksessä vaadittu levitystarkkuus oli yksittäisen näytteen osalla +/- 1 kg/m<sup>2</sup>. Koko kohteella kulutetun sementin määrän piti olla vähintään ohjearvojen edellyttämän määrän suuruinen. Tulokset sementin levitysmittauksista ovat taulukossa 10. Ohjearvot olivat:

MB 15 cm:	17.55 kg/m <sup>2</sup>
MB 20 cm:	23.40 kg/m <sup>2</sup>

Taulukko 10. Tulokset sementin levitysmittauksista

LEVITYSMITTAUKSET		
mittausten lukumäärä	7	kpl
mittausten keskiarvo	17.57	kg/m <sup>2</sup>
maksimiylitys	0.85	
maksimialitus	0.35	
keskihajonta	0.47	

20 cm:n paksuisesta maabetonista mitattiin sementin levitysmäärä yhden kerran, tulos oli 24 kg/m<sup>2</sup>.

Tulosten perusteella voidaan sementin levityskonetta pitää erittäin tarkkana ja sopivana paikallasekoitetun maabetonin sideaineen levittämiseen.

#### 4.4.4 Kerrospaksuudet

Kerrospaksuutta mitattiin kaivamalla koekuoppia lopullisesti tiivistettyyn maabetoniin. Kuopat kaivettiin sekoi-tuskaistan poikki pitkän mallisina, jotta rajakohta olisi saatu mahdollisimman tarkasti näkyviin.

Koekuopista mittaamalla saatu yksittäinen kerrospaksuusmittaus sai poiketa suunnitellusta enintään 20 mm ja mit-tausten keskiarvo enintään +/- 1 cm. Taulukossa 11 on esitetty maabetonin suunnittelupaksuudet ja taulukossa 12 valvontamittausten tulokset.

Taulukko 11. Suunnitellut paksuudet eri kohteissa

plv 120 - 500	15	cm
plv 1420 - 1770	20	
plv 1900 - 2550	15	

Taulukko 12. Tulokset maabetonin paksuusmittauksista

PAKSUUSMITTAUKSET		
mittausten lukumäärä	7	kpl
mittausten keskiarvo:	15	cm
maksimiylitys	0.8	
maksimialitus	0.6	
keskihajonta	0.5	

20 cm:n paksuisen maabetonin paksuutta mitattiin 3 kertaa. Mittauksissa todettiin yksi sallitun minimin alitus. Koealue käsiteltiin arvostelussa yhtenäisenä muun maabetonoidun alueen kanssa, sillä koekohteen pienen koon vuoksi ei ollut mielekästä arvostella sitä erikseen vähäisten mittaustietojen pohjalta. Paksuusmittaukset ovat liitteessä 11.



Kuva 12. Maabetonin paksuutta päästiin tarkastelemaan myös sitoutuneesta materiaalista.



#### 4.4.5 Tasaisuus

Urakoitsijan työjäljen tasaisuutta valvottiin oikolautamittauksin. Mittauksia tehtiin 20 m:n välein. Samalla kyettiin tarkkailemaan oikeaa poikkileikkausmuotoa, sillä käytössä olleessa oikolaudassa oli vesivaaka. Oikolaudan pituus oli 5 m. Tasaisuusvaatimukset on esitetty taulukossa 13.

Taulukko 13. Tasaisuusvaatimukset

	Suurin sallittu epätasaisuus 5 m:n matkalla	
MB 200 mm	16	mm
MB 150 mm	20	mm

Suoritetuista mittauksista kirjattiin ylös ainoastaan tasaisuusvaatimukset ylittävät mittaukset. Koska urakoitsijalla oli ammattitaitoinen tiehöyläkuljettaja sekä pohjaryhmä, ei kirjattavaa tältä osin löytynyt.

#### 4.4.6 Massan laatu

Massan laatua tutkittiin silmämääräisesti ja käsin. Massaa tunnusteltiin ja siitä yritettiin tehdä koossapysyviä palloja. Massan todettiin tarkasteluissa olevan tasalaatuisen ja hyvin sekoittuneen näköistä. Sekoittimet ovat nykyään riittävän tehokkaita maabetonin valmistukseen. Nykyaikaisilla sekoittimilla maabetonimassa pystytään sekoittamaan yhdellä sekoituskerralla. Kuvassa 13 on esitetty sekoituskoneen rumpu.



Kuva 13. Sekoituskoneen rumpu

#### 4.4.7 Puristuslujuus

Maabetonintyön onnistumisen arviointiperusteena käytetään usein betonin puristuslujuuden arvoa.

Tavoitteeksi tehtävän maabetonin puristuslujuudelle oli asetettu  $6.5 \text{ MN/m}^2$ . Puristuslujuuden yksittäinen arvo ei olisi saanut ylittää suunnittelulujuutta yli 50 % eikä alittaa sitä yli 30 %. Maabetonin toteutuneet 7 vrk:n puristuslujuustulokset nähdään taulukosta 14. Yksittäisten koekappaleiden lujuudet ovat esitetyt liitteessä 12.

Taulukko 14. Koekappaleiden puristuslujuudet 7 vrk:n iässä

7 VRK:N PURISTUSLUJUUDET		
kappaleiden lukumäärä	11	kpl
tulosten keskiarvo:	10.7	MN/m <sup>2</sup>
suurin puristuslujuus:	13.9	
pienin puristuslujuus:	6.8	
keskihajonta	2.1	

Kuten tuloksista (taulukko 14) on havaittavissa, epäonnistui mitoitus puristuslujuustavoitteen osalta pahasti. Keskiarvo ylitti lujuustavoitteen 64 %. Mikäli olisi pitäyditty alkuperäisessä lujuustavoitteessa 8 MN/m<sup>2</sup>, näyttäisi tulos huomattavasti paremmalta.

Liian suuri lujuus maabetonissa saattaa johtaa ei toivotuun laattamaiseen halkeiluun, jolloin halkeamat voivat heijastua tien pintaan päällysteen läpi heikentäen ajomukavuutta ja rakenteen kestoa päästämällä vettä rakenteeseen. Myöskin on todettu, että maabetonin puristuslujuuden suureneminen ei nosta tien kantavuuksia./3,12./

Syitä poikkeamaan asetetusta tavoitteesta ei ole löytynyt maabetonointityön suorituksesta. Merkittävimmät syyt tulosten ja tavoitteiden poikkeavuudelle löytyvät mahdollisesti ennakkokokeiden suorituksessa. Yleinen käsitys on, että työssä saavutetut tulokset ovat suuremmat kuin ennakkokokeissa saadut.

Mahdollisen virheen tuloksiin on todennäköisesti aiheuttanut ennakkokokeissa käytetyn kiviaineksen lajittuminen, varsinkin hienon alueen rakeiden jääminen pois ennakkokoekappaleiden valmistusmassasta.

Syynä eroon saattaa myös olla sekoitustapa ennakkokoemassoille. Käsineseoituksella on vaikea saada näytemassaa riittävän hyvin sekoitetuksi, mikäli halutaan riittävän hyvä sekoitus käsiseoituksella on työ tehtävä todella huolellisesti./13./

Taulukoissa 15, 16 ja 17 on esitetty puristuslujuustulokset 14, 21, ja 28 vrk:n koekappaleista. Maabetonin puristuslujuuden kehitys näkyy kuvasta 14. Lentotuhkan vaikutus on havaittavissa 21 vrk:n jälkeen lujuuskehityksen uudelleen nopeutumisena.

Taulukko 15. Koekappaleiden puristuslujuudet 14 vrk:n iässä

14 VRK:N PURISTUSLUJUUDET		
kappaleiden lukumäärä	2	kpl
tulosten keskiarvo:	14.9	MN/m <sup>2</sup>
suurin puristuslujuus:	15.4	
pienin puristuslujuus:	14.4	

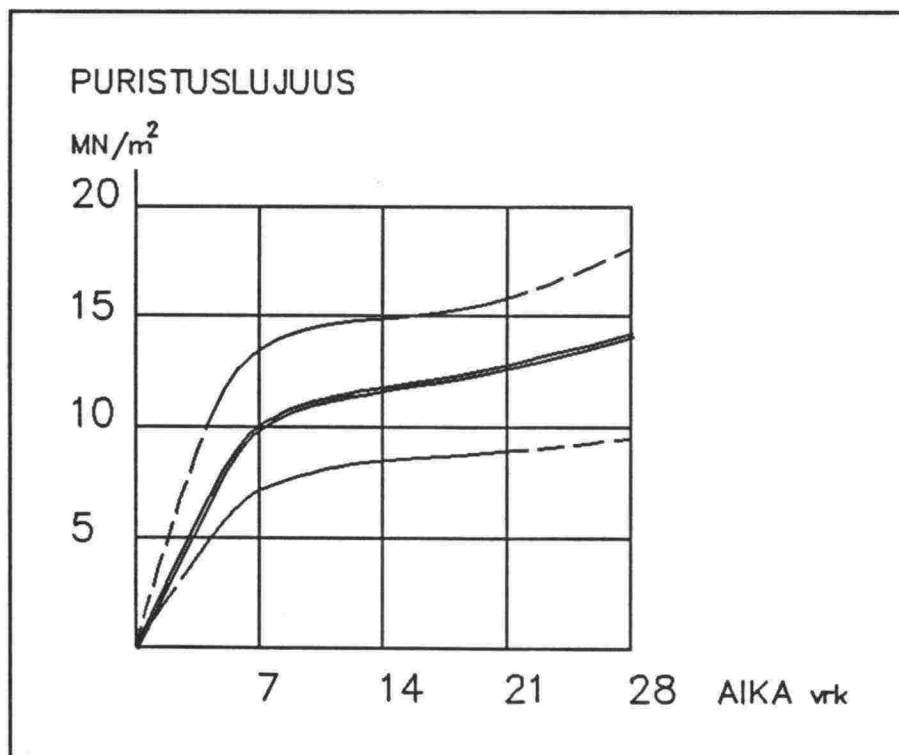
Taulukko 16. Koekappaleiden puristuslujuudet 21 vrk:n iässä

21 VRK:N PURISTUSLUJUUDET		
kappaleiden lukumäärä	2	kpl
tulosten keskiarvo:	15.3	MN/m <sup>2</sup>
suurin puristuslujuus:	15.5	
pienin puristuslujuus:	15.0	



Taulukko 17. Koekappaleiden puristuslujuudet 28 vrk:n iässä

28 VRK:N PURISTUSLUJUUDET		
kappaleiden lukumäärä	8	kpl
tulosten keskiarvo:	14.3	MN/m <sup>2</sup>
suurin puristuslujuus:	18.1	
pienin puristuslujuus:	9.4	
keskihajonta	2.9	



Kuva 14. Maabetonin puristuslujuuden kehitys

#### 4.4.8 Kantavuudet

Maabetonin kantavuudet mitattiin kuukauden ajan 7 vrk:n välein. Maabetonin kantavuustuloksia tulee mitata pudotuspainolaitteella. Tulosten mittaamiseksi tilattiin työmaalle kantavuusmittausauto. Ensimmäiseen mittaukseen jouduttiin käyttämään levykuormitusautoa, sillä pudotuspainolaitetta ei ollut saatavissa. Kantavuuksia on arvosteltu 14 vrk:n tulosten perusteella (ensimmäiset pudotuspainolaitteella suoritettut mittaukset).

Kantavuuksien keskiarvovaatimukset maabetonin päältä mitattuina olivat

15 cm:n paksuisen maabetonin päältä  $230 \text{ MN/m}^2$

20 cm:n paksuisen maabetonin päältä  $292 \text{ MN/m}^2$

Kantavuustavoite 20 cm:n maabetonille on asetettu työmaalla laskemalla se Odemarkin mitoituskaavalla.

Koska maabetoni päällystettiin alle viikon ikäisenä, jouduttiin kantavuudet mittaamaan ensimmäisen päällystekeroksen päältä. Koekohteella päällysteenä oli KBAB 18/120 ja muualla BS 32/170.

Kantavuuksista saadut tulokset 14 vrk:n kuluttua maabetonin valmistumisesta ovat taulukoissa 18 ja 19. Kantavuuksissa on päällysteen antama lisä mukana. Yksittäiset kantavuusmittaustulokset ovat liitteenä 13.

Taulukko 18. Kantavuusmittaustulokset pudotuspainolaitteella 14 vrk:n ikäiselle maabetonille 15 cm:n osuudella.

14 VRK:N KANTAVUUDET 15 cm:n osuudella		
kokeiden lukumäärä	23	kpl
tulosten keskiarvo:	455	MN/m <sup>2</sup>
suurin kantavuus:	749	
pienin kantavuus:	265	
keskihajonta	102	

Taulukko 19. Kantavuusmittaustulokset pudotuspainolaitteella 14 vrk:n ikäiselle maabetonille 20 cm:n osuudella.

14 VRK:N KANTAVUUDET 20 cm:n osuudella		
kokeiden lukumäärä	10	kpl
tulosten keskiarvo:	690	MN/m <sup>2</sup>
suurin kantavuus:	828	
pienin kantavuus:	609	
keskihajonta	68	

Tulosten perusteella (taul. 18 ja 19) voidaan todeta, että maabetonin avulla päästään suuriin kantavuuksiin. Maabetonoidun alueen kantavuudet kasvoivat koko mittausten suorittamisen ajan. Kasvuun ovat vaikuttaneet rakenteen kuivuminen ja häirinnän loppuminen, jolloin maabetonin alla olevat kiviainesrakeet ovat hakeneet paikkansa ja kantavuutta pudottanut vesi on poistunut kerroksista.

Maabetonin kantavuuksiin päästään eo. tuloksista vähentä-

mällä niistä päällysteen osuus pois, päällysteen osuus on laskettu Odemarkin kaavan avulla. Tulokset ovat taulukossa 20.

Taulukko 20. Kantavuusmittaustulosten keskiarvot maabetonille 14 vrk:n ikäisenä vähennettynä päällysteen osuudella.

14 VRK:N KANTAVUUDET		
tulosten keskiarvo MB 15 cm:	360	MN/m <sup>2</sup>
tulosten keskiarvo MB 20 cm:	582	

#### 4.5 EHDOTUS JATKOTOIMENPITEIKSI

Maabetonin käyttäytymistä tien rakenteen osana on syytä seurata. Seuranta on tärkeää, jotta saataisiin selville maabetonoidun alueen kantavuuden kehittyminen tai mahdollinen vaurioituminen ja voitaisiin täten hyödyntää saatuja tutkimustuloksia vastaisuudessa maabetonia suunniteltaessa ja rakennettaessa.

##### 4.5.1 Tieosan seuranta

Ehdotus maabetonilla rakennetun tieosan seurantaohjelmaksi on kuvassa 14. Mittaukset esitetään tehtäväksi kahden vuoden välein ajankohtana, jolloin rakenteessa vallitsevat kevätkantavuusolosuhteet, routa on juuri sulanut ja rakenteen vesiolosuhteet ovat epäedulliset. Kuvassa 14 esitetyt ajankohdat ovat ohjeellisia./14./



	1993, 1995 ja 1997 T H M H T K H E S L M J											
KANTAVUUS- MITTAUS												
TASAIUUUS- MITTAUS												
VAURIO- KARTOITUS												

- KANTAVUUSMITTAUKSET TEHDÄN PUDOTUSPAINOLAITTEELLA  
 - TASAIUUUSMITTAUKSET TEHDÄN LASER-MITTAUSAUTOLLA  
 - VAURIOKARTOITUKSISSA KARTOITETAAN KAIKKI PAALLYSTEEN  
 PINNASSA HAVAITTAVAT POIKKEAMAT

Kuva 14. Ehdotus tieosan seurantaohjelmaksi vuosille 1993, 1995 ja 1997

#### 4.5.2 Mahdolliset vauriot

Maabetonin halkeilun toivotaan aina olevan hallittua mikrohalkeamien muodostumista. Tällöin sementillä sidottu kerros toimii jäykkänä, laattamaisena verkkona päällysteen alla välittäen liikennekuormat alla oleville kerroksille tasaisesti. Verkkomaiset mikrohalkeamat maabetonissa eivät heijastu pintaan päällysteen läpi.

Maabetoniin kehittyneen liian lujuuden vuoksi saattaa rakenne halkeilla odottamattomasti pitkinä laattoina. Mikäli näin tapahtuu, on suuri vaara, että halkeilu rikkoo päällysteen. Seurauksena on ajomukavuuden lasku (halkeamat tuntuvat ajaessa) ja päällysrakenteen odotetun kestoajan lyheneminen, sillä syntyneistä halkeamista pääsee rakenne-

kerrokseen vettä, jolloin rakenne kuluu ja hienoainesmäärä kasvaa.

#### 4.5.3 Korjausehdotus

Mikäli maabetoniin syntyy liiallisesta lujuudesta johtuvia ei toivottuja halkeamia, kannattaa maabetoni päällystää koko osuudelta joustavalla kumibitumipäällysteellä. Uusi joustava päällyste sietää alla olevat halkeamat ja näin tien pinta säilyttää tasaisuutensa ja ajomukavuutensa. Nyt rakennettuun kohteeseen on suunnitelmissa esitetty vielä yksi päällystekerros rakennettavaksi myöhemmin, joten se voidaan tarpeen vaatiessa tehdä kumibitumiasfaltilla.

### 5 YHTEENVETO

#### 5.1 MAABETONIN SOPIVUUS KANTAVAAN KERROKSEEN

Kantavassa kerroksessa maabetoni mahdollistaa hyvien lujuusominaisuuksiensa hyödyntämisen parhaalla mahdollisella tavalla. Maabetoni lisää rakenteen jäykkyyttä ja kantavuutta vähentäen muodonmuutoksia. Sementillä sidottu kantava kerros on toteuttamiskustannuksiltaan edullisempi, kuin vastaava bitumilla sidottu kerros (katso taulukko 2, sivu 14). Huonoina puolina mainittakoon mahdolliset maabetonikerroksen halkeiluheijustukset päällysteen läpi.

Tutkimuksen perusteella voidaan maabetonia pitää hyvänä vaihtoehtona kantavan kerroksen lujittamiseen. Tien rakenteiden laatuvaatimusten kasvaessa vain sidotuilla päällystekerroksilla päästään pitkäikäisiin ja kunnossapitokustannuksiltaan edullisiin rakenteisiin. Molemmat toteutamisvaihtoehdot ovat käyttökelpoisia, valinta tulee suorittaa tapauskohtaisesti kustannusvertailun perusteella.

## 5.2 KEHITYSNÄKYMÄT

Maabetonin valmistusmenetelmät ovat Suomessa kehittyneet valtavasti viimeisten vuosien aikana, eikä niiden kehitys ole vielä pysähtynyt.

Suurissa tiehankkeissa, varsinkin uusien teiden rakentamisessa asemasekoitusmenetelmän käyttö tulisi ottaa varteenotettavaksi vaihtoehdoksi paikallasekoitusmenetelmän rinnalle. Asemasekoitteen maabetonin hinta tulee ensin saada kilpailukykyiseksi paikallasekoitetun maabetonin kanssa, sillä laatu on paikallasekoitusmenetelmässä parantunut sementinlevittimien ja sekoituskaluston kehityksen myötä.

## 5.3 LAADUNVARMISTUKSEN KEHITYS

Ennakkokokeita tulee tehdä vastaisuudessa enemmän ja suurissa erissä, jolloin käytetyn kiviaineksen lajittuminen jää vähäisemmäksi ja täten tulokset ennakkokokeista vastaavat paremmin käytännön maabetonityötä. Toinen vaihtoehto varmistaa yhdenmukainen rakeisuus ennakkokokeissa ja itse työssä käytettävän kiviaineksen kanssa on seuloa kiviaines eri seulojen silmäkokojen mukaisesti eli purkaa murske seuloittain. Ennakkokoe-kappaleita tehtäessä tästä puretusta kiviaineksesta rakennetaan uudelleen itse maabetonityössä käytettävän murskeen rakeisuuden keskiarvon mukaista mursketta, jolloin se edustaa tiellä olevaa kiviainesta.

Tehdyn ennakkokoemassan sekoituksen parantamiseksi tulisi Turun tiepiirin keskuslaboratorioon hankkia pieni pakko-sekoittaja betonisten ennakkokoe-kappaleiden valmistusta varten. Käsien sekoittamalla kyllä pystytään työ suorittamaan, mutta menetelmä vaatii suurta huolellisuutta. Koneellisella pakkosekoituksella varmistetaan massan tasaisen laatu.

## 6 LÄHDELUETTELO

- 1 Rahiala, Jussi. 1988, Maabetoni ja betonipäällysteet. Käytössä maailmalla, sopivatko Suomeen ? TVH 723867. Turku: Grafia Oy. Osa A, s 13 - 40
- 2 Sementtistabilointiohje. 1992. Tarkistamaton luonnos. Tielaitos, Geopalvelukeskus. Helsinki. 39 s.
- 3 Kosonen, J.P. 1992, Tierakenteen kestävyysparantaminen uudelleenpäällystyksen yhteydessä. Suunnitteluohje. Asfalttipäällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987 - 1992. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tie-, geo-, ja liikennetekniikan laboratorio n:o 107. Espoo. 53 s.
- 4 Markkanen, Pentti. 1992, Vuoden 1991 maabetonikohteet. Moniste. Partek sementti.
- 5 Rahiala, Jussi. Tie- ja katurakenteen suunnittelu maabetonia käyttäen. 11 s.
- 6 Rahiala, Jussi. Maabetonin mahdollisuudet ja edellytykset tien päällysrakenteessa. 14 s.
- 7 Turun tiepiirin keskuslaboratorio. Stabilointitöiden arkistointikansiot 1 - 3.
- 8 Nesteentien parantaminen välillä Telakkatie - Martinkatu. 1989. Työkohtainen työselitys, Viatek Oy
- 9 ICT-100S -laitteen käyttöohje, Invelop Oy
- 10 RA-CO 250 esite, RABAUD Co



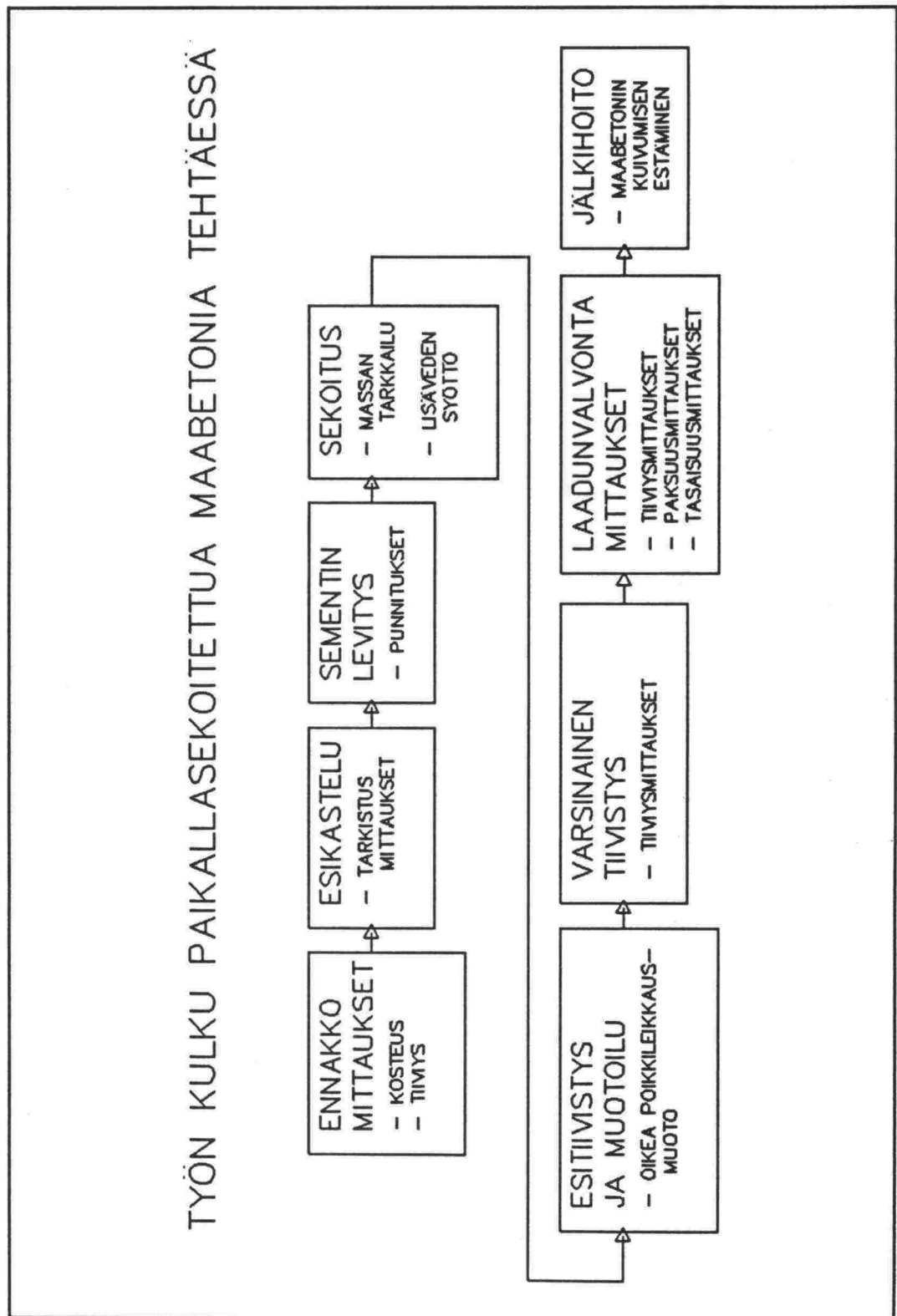
- 11 Puhelinkeskustelu Stabi-leksa 15 -laitteen valmistajan Veli Junnin kanssa. 29.10. 1992
- 12 Turunen, Ari. 1991, Sementtistabilointi. Asfalttipääällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987 - 1992. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tie-, geo-, ja liikennetekniikan laboratorio n:o 66. Espoo. 75 s.
- 13 Tapaaminen Partek Oy:n Olli Skytän kanssa 13.10. 1992
- 14 Turunen, Ari. 1991, Sementtistabilointikoe Österbyn paikallistiellä (PT 11273). Rakentaminen ja jälkiseurantaohjelma. Asfalttipääällysteiden tutkimusohjelma ASTO 1987 - 1992. Väliraportti. Valtion teknillinen tutkimuskeskus. Tie-, geo-, ja liikennetekniikan laboratorio n:o 17. Espoo. 30 s.
- 15 Schubenz, Dieter. 1990, Strassenbau heute, Heft 2, Tragschichten mit hydraulischen bindemitteln, Bundesverband der Deutschen Zementindustrie. Beton - Verlag. Köln. 222 s.
- 16 Semi - rigid pavements. 1991. PIARC, Permanent International Association of Road Congresses. France par Graphic Offset. Pont - Saint - Martin. 311 s.

## 7 LIITTEET

- Liite 1. Kaavio paikallasekoitteen maabetonityön kuluista
- Liite 2. Kiviaineksen murskauksen keskiarvokäyrä
- Liite 3. Rakenteelliset tyyppipoikkileikkaukset R 3/10
- Liite 4. Rakenteelliset tyyppipoikkileikkaukset R 3/11
- Liite 5. Suunnitelmakartta plv 0 - 500 R 3/2, johon on merkitty tehty maabetonialue
- Liite 6. Suunnitelmakartta plv 1200 - 2100 R 3/4, johon on merkitty tehty maabetonialue
- Liite 7. Suunnitelmakartta plv 2100 - 2558 R 3/5, johon on merkitty tehty maabetonialue
- Liite 8. Ennakkokokeiden tulokset
- Liite 9. Kosteus- ja tiiviysmittaukset
- Liite 10. Sementin levitysmittaukset
- Liite 11. Paksuusmittaukset
- Liite 12. Puristuslujuustulokset
- Liite 13. Kantavuusmittaukset

Liitteet 8 - 13 on laitettu erilliseen liiteosaan.

Kaavio paikallasekoitteen maabetonityön kulusta



## Kiviaineksen murskauksen keskiarvokäyrä

Murskenäytteiden keskiarvo					
Piiri: 2 Turun tiepiiri					
Murskausurakka: Ohikulkutien murskaus					
Urakoitsija: Lemminkäinen Oy					
Murskauspaikka: Runosmäki/Lentokent.					
Seula # mm	KaH BS Rajakäyrä: Sisä	0- 32	Kpl: 41	Päivämäärä:	04.03.92 pp.kk.vv
0.074	3.00- 7.00	3.50	Muotoarvo:	3.31/1.79	
0.125	5.00- 10.00	5.80	Murtopintaluku:	0/ 0	
0.25	7.00- 15.00	10.50	Kosteus:	1.03	
0.5	11.00- 21.00	15.30	Ominaispaine:	0.50	
1	16.00- 28.00	20.20	Los Angeles luku:	0.00	
2	24.00- 37.00	26.30	Haurausarvo:	0.00	
4	34.00- 48.00	34.60	Hioutuvuus:	0.00	
6	41.00- 56.00	42.00	Sideaineprosentti:	0.00	
8	47.00- 62.00	49.00	Huospitoisuus:	0	
12	57.00- 71.00	62.00	E-moduli MN/m <sup>2</sup> :	0	
16	66.00- 79.00	72.00	Routivuus:		
20	73.00- 85.00	81.00	Kantavuusarvo:	0.00	
25	82.00- 92.00	87.00			
32	92.00- 100.00	97.00			
40	100.00- 100.00	100.00			
	100.00- 100.00	100.00			
	100.00- 100.00	100.00			
	100.00- 100.00	100.00			
	100.00- 100.00	100.00			
	100.00- 100.00	100.00			

